

AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR RADIOLOGIE

der Philipps — Universität Marburg

Klinik für Strahlendiagnostik

Direktor: Prof. Dr. Klaus Jochen Klose

**TECHNISCHE
ABBILDUNGSQUALITÄT UND
ENDOLUMINALER DRUCK IM
ENTEROKLYSMA BEI KONSTANTER
ODER PATIENTENINDIVIDUELL
ADAPTIERTER
KONTRASTMITTELINSTALLATION**

INAUGURAL – DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DES DOKTORGRADES DER GESAMTEN MEDIZIN DEM
FACHBEREICH HUMANMEDIZIN DER PHILIPPS — UNIVERSITÄT MARBURG

vorgelegt von

Annette Fenske

aus Giessen

Marburg 2004

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg am 14. Oktober 2004.
Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. Bernhard Maisch
Referent: Prof. Dr. Klaus Jochen Klose
Korreferent: Prof. Dr. Wigbert S.Rau

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung.....	1
1.1.	Kurzer Abriss der Geschichte der radiologischen Dünndarmdarstellung.....	1
1.2.	Gegenwärtiger Stand der bildgebenden Dünndarmdiagnostik.....	3
1.2.1.	Kernspintomographische Dünndarmuntersuchungen	3
1.2.2.	Dünndarmkapsel zur Videodokumentation der Dünndarmmorphologie.....	5
1.3.	Das Enteroklysma	6
1.3.1.	Prinzip.....	6
1.3.2.	Modifikationen	8
1.3.2.1.	Modifikationen der Kontrasttechnik	8
1.3.2.2.	Modifikationen der Kontrastmittel.....	9
1.3.2.3.	Modifikationen der Untersuchungstechnik	9
1.3.2.4.	Modifikationen der Instillationstechnik.....	11
1.3.3.	Vor- und Nachteile des Enteroklysmas	12
1.3.3.1.	Methodenbewertung.....	13
1.3.3.2.	Patientenverträglichkeit	14
1.3.3.3.	Komplikationen	15
1.3.3.4.	Strahlenbelastung	15
1.3.4.	Indikationen	15
1.3.5.	Kontraindikationen.....	18
1.4.	Anatomie, Physiologie und Pathophysiologie des Dünndarms unter besonderer Berücksichtigung der Motilität	18
1.4.1.	Anatomie	19
1.4.2.	Physiologie	20
1.4.2.1.	Resorption	20
1.4.2.2.	Sekretion	21
1.4.2.3.	Immunologie	22
1.4.3.	Motilität	22
1.4.3.1.	Physiologische Betrachtungen.....	23
1.4.3.2.	Pharmakologische Betrachtungen	25
1.5.	Röntgenanatomie und –pathologie des Dünndarms	27
1.5.1.	Angeborene Anomalien.....	28
1.5.2.	Entzündliche Dünndarmerkrankungen.....	28
1.5.3.	Obstruktionen	30
1.5.4.	Tumoren	30
1.5.5.	Malabsorption	31
1.5.6.	Motilitätsstörungen	32
2.	Ziel und Fragestellung der Arbeit	34
2.1.	Klinische Probleme.....	34
2.2.	Fragestellung der Studie	34

3.	Material und Methode.....	36
3.1.	Patientenkollektiv.....	36
3.1.1.	Umfang und Zusammensetzung des Patientenkollektives.....	36
3.1.2.	Ein- und Ausschlusskriterien.....	37
3.2.	Untersuchungstechnik.....	38
3.2.1.	Patientenvorbereitung	38
3.2.2.	Technik mit konstanter Instillationsrate	38
3.2.2.1.	Zubereitung des Kontrastmittels	38
3.2.2.2.	Zubereitung des Distensionsmediums.....	38
3.2.2.3.	Instillation von Kontrastmittel und Distensionsmedium.....	38
3.2.3.	Technik mit variabler Instillationsrate	39
3.2.3.1.	Zubereitung des Kontrastmittels	39
3.2.3.2.	Zubereitung des Distensionsmediums.....	39
3.2.3.3.	Instillation von Kontrastmittel und Distensionsmedium.....	39
3.2.4.	Untersuchung	40
3.2.4.1.	Versuchsaufbau	40
3.2.4.2.	Sondenplatzierung	41
3.2.4.3.	Dokumentation	41
3.3.	Datenerfassung und –auswertung	42
3.3.1.	Allgemeine und anamnestische Patientendaten.....	42
3.3.1.1.	Antibiotika	42
3.3.1.2.	Vorerkrankungen.....	42
3.3.1.3.	Operationen.....	43
3.3.1.4.	Dauermedikation	43
3.3.1.5.	Bedarfsmedikation.....	43
3.4.	Dokumentation der Untersuchung	44
3.4.1.	Protokollierte Untersuchungsdaten	44
3.4.2.	Druckmessung	44
3.4.3.	Auswertung der Röntgenfilme.....	45
4.	Ergebnisse.....	47
4.1.	Zusammensetzung des Patientenkollektives.....	47
4.1.1.	Verdachtsdiagnosen bzw. Fragestellung bei Zuweisung.....	47
4.1.2.	Untersuchungsergebnisse	49
4.1.2.1.	Antibiotika	50
4.1.2.2.	Vorerkrankungen.....	50
4.1.2.3.	Operationen.....	50
4.1.2.4.	Medikation	51
4.1.2.5.	Häufigkeitsverteilung und Subgruppeneinteilung anhand der erhobenen Daten	52
4.2.	Zeitliche Struktur der Untersuchung.....	53
4.2.1.	Sondenplatzierung	53
4.2.2.	Instillations- und Dokumentationsphase	55
4.2.3.	Gesamtuntersuchung.....	56

4.3.	Kinetik von Kontrastmittel und Distensionsmedium.....	57
4.3.1.	Physikalische Parameter von Kontrastmittel und Distensionsmedium.....	57
4.3.2.	Kinetik der Kontrastmittel	59
4.3.3.	Kinetik der Distensionsmedien.....	59
4.3.4.	Beeinflussung der Untersuchungsdauer durch physikochemische Parameter von Kontrastmittel und Distensionsmedium.....	60
4.3.5.	Vergleich der Patiententeilkollektive hinsichtlich der Kontrastmittelkinetik..	60
4.4.	Beurteilung der Motilität.....	64
4.4.1.	Passagezeit	64
4.4.2.	Subjektive Beurteilung der Motilität durch den Untersucher.....	65
4.4.3.	Vergleich der Passagezeit mit der subjektiven Beurteilung der Motilität bei den unterschiedlichen Kollektiven	67
4.5.	Intraluminaler Druckverlauf	69
4.5.1.	Eckdaten der Druckkurve	69
4.5.2.	Druckverlauf bezogen auf den Ruhedruck.....	70
4.5.3.	Vergleich der Patiententeilkollektive hinsichtlich des Druckverlaufes.....	72
4.6.	Beurteilung der Darstellungsqualität anhand der Röntgenaufnahmen.....	72
4.6.1.	Erkennbarkeit der verwendeten Technik in der Röntgenaufnahme	72
4.6.2.	Bewertung der Abbildungsqualität	73
4.6.3.	Bewertung der Zottendarstellung	75
4.7.	Nebenwirkungen und Verträglichkeit der Untersuchung	76
4.7.1.	Art und Häufigkeit von Nebenwirkungen.....	76
5.	Diskussion	77
5.1.	Zeitliche Struktur der Untersuchung.....	77
5.1.1.	Sondenplatzierung	77
5.1.2.	Instillations- und Dokumentationsphase	78
5.1.3.	Gesamtuntersuchung.....	79
5.2.	Kinetik von Kontrastmittel und Distensionsmedium.....	82
5.2.1.	Physikalische Parameter von Kontrastmittel und Distensionsmedium.....	82
5.2.2.	Kinetik des Kontrastmittels.....	83
5.2.3.	Kinetik des Distensionsmediums	84
5.2.4.	Vergleich der Patientenkollektive hinsichtlich der Kontrastmittelkinetik.....	84
5.3.	Beurteilung der Motilität.....	85
5.3.1.	Passagezeit	85
5.3.2.	Subjektive Beurteilung der Motilität durch den Untersucher.....	87
5.3.3.	Vergleich der Passagezeit mit der subjektiven Beurteilung der Motilität	89
5.3.4.	Vergleich der Patientenkollektive hinsichtlich der Motilität.....	89
5.4.	Intraluminaler Druckverlauf	90
5.4.1.	Eckdaten der Druckkurve	91
5.4.2.	Druckverlauf bezogen auf den Ruhedruck.....	92
5.4.3.	Vergleich der Patientenkollektive hinsichtlich des Druckverlaufs	93

5.5.	Beurteilung der Darstellungsqualität anhand der Röntgenaufnahmen.....	94
5.5.1.	Bewertung der Abbildungsqualität	94
5.5.2.	Bewertung der Zottendarstellung	95
5.6.	Nebenwirkungen und Verträglichkeit der Untersuchung	96
5.6.1.	Art und Häufigkeit von Nebenwirkungen.....	96
6.	Zusammenfassung.....	98
7.	Literatur	100
8.	Anhang	112
8.1.	Fallbeispiele mit ausgewählten Röntgenaufnahmen	112
8.2.	Patientenvorbereitung	118
8.3.	Anamnesebogen zur Röntgenuntersuchung des Dünndarms.....	119
8.4.	Untersuchungsprotokoll.....	123
8.5.	Auswertungsfragebogen	125
8.6.	Akademische Lehrer	126
8.7.	Danksagung	126
8.8.	Lebenslauf	127
9.	Index.....	128

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AP	Anus praeternaturalis, künstlicher Darmausgang, Kotfistel
CT	Computertomographie
DAB	Deutsches Arzneibuch
DM	Distensionsmedium
GALT	gut associated lymphatic tissue, darmassoziiertes lymphatisches Gewebe
KM	Kontrastmittel
MRT	Magnetresonanztomographie
PID	Patienten-Identifikationsnummer
SD	auch Std.Abweichung, Standardabweichung
VIP	Vasoaktives Intestinales Peptid
W/V	weight per volume, spezifisches Gewicht

GLOSSAR

ANOVA	Analysis of variance, Varianzanalyse
Backwash-Ileitis	Colitis ulcerosa-Befall des terminalen Ileums
Bauhinsche Klappe	klinische Bezeichnung für Valva ileocecalis
Bodaert-Trias	1. Stenosen, 2. Pseudodivertikel, 3. peritoneale Fettvermehrung; Zeichen des Endstadiums des Morbus Crohn
First pass	erstes Passieren des Kontrastmittels durch die Bauhinsche Klappe
FISP	fast imaging with steady-state procession: T2 gewichtete Sequenz in der MRT
FLASH	fast low-angle shot: T1 gewichtete Sequenz in der MRT
HASTE	half-Fourier acquisition single-shot turbo spin echo
Intestinal hurry	Hyperperistaltik , zu erkennen per definitionem, wenn sich nach Instillation von 300 ml Kontrastmittel 2/3 der Darmschlingen in Kontraktion befinden und das Coecum bereits erreicht ist.
MAPC	migration action potential complexes schnelle, kräftige, ringförmige Kontraktion, auch peristaltic rush genannt
MMC	migrating motor complexes periodische motorische Wellen im Nüchternzustand
Push-Enteroskopie	Endoskopie des oberen Gastrointestinaltraktes inklusive des Dünndarmes
Treitzsches Band	klinische Bezeichnung für Flexura duodenojejunalis

1. Einleitung

Das Enteroklysma ist zur Zeit immer noch die Methode der Wahl zur Darstellung und Gewinnung funktioneller und morphologischer Informationen über den Dünndarm. Während Duodenum und Kolon inklusive des terminalen Ileums schon lange eine Domäne der Endoskopie darstellen, war das Enteroklysma bei der Abklärung bzw. beim Auffinden pathologischer Prozesse im Darm das diagnostische Bindeglied (*Golder 2002*). Diese Studie soll einen Beitrag dazu leisten, die röntgendiagnostische Abbildungsqualität ohne zusätzliche Strahlenbelastung zu steigern.

Die Schnittbilddiagnostik beginnt seit einiger Zeit, diese Domäne schrittweise zu erobern. Mittlerweile sind die Computertomographie und Magnetresonanztomographie (MRT) in der Diagnostik und Methodik bezüglich des Dünndarms immer weiter ausgereift. Gerade die MRT erscheint aufgrund der fehlenden Strahlenexposition eine attraktive Alternative, zumal das Enteroklysma nicht selten im Verlauf von chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen mehrmals durchgeführt wird. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass es sich hierbei häufig um junge Patienten handelt (*Schunk et al. 1997*).

Im Sektor der Endoskopie tritt die Kapselendoskopie die Konkurrenz zur Endoskopie und zugleich zur Röntgenuntersuchung an.

In Zusammenschau der Entwicklung wird dem Enteroklysma eine Minorität aus dem zumeist chirurgischen Klientel mit mehreren Operationen und/oder fistelndem M. Crohn bleiben (*Golder 2002*). Bis es aber soweit ist und sowohl die Kapselendoskopie als auch die Schnittbilddiagnostik ubiquitär zur Verfügung stehen, ist das Enteroklysma die Methode der Wahl.

1.1. Kurzer Abriss der Geschichte der radiologischen Dünndarmdarstellung

1895 Konrad Röntgen entdeckt die Röntgenstrahlen und die Möglichkeit der enteralen in vivo Diagnostik wird eröffnet, wobei zunächst die Physiologie und Anatomie im Vordergrund stehen.

1911 Cole (*Cole 1911*) stellt das Duodenum retrograd über eine Einhorn-Sonde im Monokontrast dar.

- 1926 Einhorn verabreicht antegrad eine Bariumsuspension über eine Duodenalsonde.
- 1927 Erste Doppelkontrastdarstellung des Duodenums durch Pribham (*Pribham et al. 1927*) mittels Pneumoduodenographie.
- 1929 Pesquara (*Pesquara 1929*) stellt antegrad über die Duodenalsonde als erster den gesamten Dünndarm –und nicht nur das Duodenum- im Monokontrast dar.
- 1938 Ghélew und Mengis (*Ghélew et al. 1938*) benutzen Thoriumoxid und Luft zur Dünndarmdoppelkontrastdarstellung.
- 1939 Gershon-Cohen und Shay (*Gershon-Cohen et al. 1939*) bezeichnen das von ihnen angewandte Verfahren zur Doppelkontrastdarstellung mit Bariumsulfat und Luft mittels Sonde als „Barium-Enteroklysma“.
- 1960 Greenspoon und Lentino (*Greenspoon et al. 1960*) benutzen eine Ballonsonde (Miller-Abbott-Sonde) mit der sie distal das Darmlumen abdichten und von aboral nach oral Kontrastmittel applizieren („retrograde Enterographie“).
- 1961 Scott-Harden et al. (*Scott-Harden et al. 1961*) verabreichen Bariumsulfat und Wasser über eine Koaxialsonde mit zwei unterschiedlich rigiden Anteilen.
- 1963 Trickey (*Trickey et al. 1963*) verwendet zur Distension Ethylzellulose, das durch den verminderten Auswascheffekt eine verbesserte Schleimhautdarstellung auch in distalen Abschnitten erlaubt.
- 1967 Bilbao (*Bilbao et al. 1967*) vereinfacht durch eine flexible Sonde mit Führungsdraht die Intubation erheblich.
- 1971 In Anlehnung an die Doppelkontrastdarstellungen von Magen und Kolon begründet Johan Sellink, die später nach ihm benannte Standardmethode zur Dünndarmdarstellung mittels Bariumsulfat im Monokontrast. Die Dünndarmsondierung erfolgt mit der Bilbao-Dotter-Sonde. (*Miller et al. 1979, Sellink 1971, Sellink et al. 1981*)
- 1978 Herlinger modifiziert die Technik indem er Methylzellulose einsetzt (*Herlinger 1978*).
- 1998 Nach dem versuchten Einsatz der MRT in der Dünndarmdiagnostik Anfang der 90er Jahre, die sich jedoch nicht durchsetzen konnte (*Aschoff et al. 1997*), führten Holzknecht et al. (*Holzknecht et al. 1998*) ein MRT-Enteroklysma mit oralen Eisenpartikeln kombiniert mit i.v.-Kontrastierung durch.

2000 Rieber et al. kombinieren ebenfalls MRT mit dem Enteroklysma. Aufgrund der reaktiven Darmatonie bei Kontrastmittelinstillation können Bewegungsartefakte vermieden werden. Ein negatives orales Kontrastmittel in Kombination mit einer i.v.-Kontrastierung zeigt Vorteile, birgt aber die Gefahr, dass Schlingenabszesse maskiert werden können. Gerade für extraintestinale Prozesse (Abszesse und Fisteln) zeigt sich eine hohe Sensitivität gegenüber dem konventionellen Enteroklysma (*Rieber et al. 2000c, Rieber et al. 2000a*)

2001 Prassopoulos et al. (*Prassopoulos et al. 2001*) applizierte über eine nasojejunale Sonde 1,5-2 l isotonische Wasserlösung zur Darmdistension und Verbesserung der Erkennbarkeit von Darmwandprozessen. Er benutzte unterschiedliche Sequenzen (FISP, HASTE und 3D FLASH), um die Nachteile der jeweiligen Sequenz durch eine andere aufzufangen. Oberflächenauffälligkeiten, die im Enteroklysma gut dargestellt werden können, weist die MRT nicht beständig auf.

1.2. Gegenwärtiger Stand der bildgebenden Dünndarmdiagnostik

1.2.1. Kernspintomographische Dünndarmuntersuchungen

Bereits 1991 verglich Semelka (*Semelka et al. 1991*) die Ergebnisse von computer- und kernspintomographischen Abdomenaufnahmen. Die MRT war der CT gerade in Bezug auf die Kontrastgebung eindeutig überlegen. Er mutmaßte schon zu diesem Zeitpunkt, dass die MRT im Bereich der Darmerkrankungen eine Rolle spielen könnte. Diesen Ansatz verfolgte 1993 Shoenut (*Shoenut et al. 1993b*) weiter. Er fand im Vergleich von kernspintomographischen Bildern und der Histologie eine Korrelation des MRT bezüglich der Wanddicke, Ausdehnung des betroffenen entzündeten Darmabschnittes und vor allem dem Schweregrad der Entzündung. Kettritz (*Kettritz et al. 1995b*) beschreibt, dass die hohe Gadolinium-Aufnahme in den entzündeten Darmabschnitten die Sensitivität im Vergleich zur CT erhöht. Rieber et al. (*Rieber et al. 2000b*) beschreibt im Vergleich zwischen der MRT und den konventionellen Röntgenmethoden ebenfalls eine erhöhte Sensitivität und Spezifität gerade in Bezug auf entzündliche Darmerkrankungen, Abszesse und Fisteln. Allerdings können negative orale Kontrastmittel in Verbindung mit i.v.-Kontrastmitteln in den T1-gewichteten Sequenzen Abszesse maskieren (*Rieber et al. 2000c*). Durch die verschiedenen Schnittebenen konnten Darmschlingen beurteilt werden, die bei

konventionellen Methoden von anderen Darmschlingen bedeckt gewesen wären. Laut Umschaden et al. (*Umschaden et al. 2000*) sind sogar die funktionellen Informationen der single-shot fast spin-echo T2-gewichteten Sequenzen mit denen des Enteroklysmas gleichrangig.

In einer Kasuistik beschreibt Shoenut (*Shoenut et al. 1993a*), wie bei zwei schwangeren Frauen per MRT die Diagnose Morbus Crohn verlässlich gestellt werden konnte. Die fehlende Strahlenexposition machte die MRT für die (Dünndarm-) Diagnostik reizvoll, da es sich zum einen häufig um mehrere Verlaufskontrollen bei chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen handelt, zum anderen die Patienten im allgemeinen recht jung sind (*Schunk et al. 1997*).

Der Einsatz der MRT erfolgte in den darauffolgenden Jahren jeweils direkt im Anschluss an das konventionelle Enteroklyσμα (*Aschoff et al. 1997, Faber et al. 1997, Holzkecht et al. 1998, Rieber et al. 1998, Rieber et al. 2000a*). Dabei wurde die Distension durch das hohe Füllungsvolumen des Darmes während des Enteroklysmas ausgenutzt. Verschiedene Ansätze bezüglich des Kontrastmittels kamen zum Tragen. Aschoff et al. (*Aschoff et al. 1997*) setzten dem Distensionsmedium des Enteroklysmas Gadolinium zu. Holzkecht (*Holzkecht et al. 1998*) verwendete orale magnetische Partikel, während Faber (*Faber et al. 1997*) aufgrund der vermehrten Artefakte auf orale Eisenpartikel verzichtete und diamagnetische Methylzellulose verwendete und so eine gute bis sehr gute Abbildungsqualität im Ileum erreichte.

Patak (*Patak et al. 2001*) gelang 2001 die Dünndarmdistension ohne Sonde. Er verwendete eine wässrige Lösung mit Meglumin-Gadotetraten, die nach vier Stunden im Darmlumen ein visköses Hydrogel ergibt. Damit erreichte er neben der guten Distension auch eine konstante Signalintensität und die umliegenden Gewebe konnten sehr gut abgegrenzt werden bei insgesamt niedriger Artefaktrate. Minowa (*Minowa et al. 2002*) setzte als orales Kontrastmittel lediglich Wasser ein. Die Bilder hielten dem Vergleich zum Enteroklyσμα durchaus stand. Der Vorteil bestand darin, dass die zur Distension benötigte Flüssigkeitsmenge wesentlich geringer war. Allerdings waren Ulzerationen in der MRT nicht darstellbar.

Einstimmig ist von dem Vorteil zu berichten, dass die Kernspintomographie über die Beurteilung des Dünndarms hinaus wichtige Zusatzinformationen über extraintestinale Prozesse liefern kann (*Aschoff et al. 1997, Goldberg et al. 2000, Kettritz et al. 1995b*).

Gourtsoyiannis et al. (*Gourtsoyiannis et al. 2001*) zeigten, dass bei trueFISP

Sequenzen die Bewegungsartefakte unter zu Hilfenahme von 20 mg Buscopan oder 1 mg Glucagon vermindert werden konnten. 3D FLASH Sequenzen zeigten zwar weniger scharfe Bilder, aber einen hohen Kontrast zwischen Darmwand und Darmlumen.

1.2.2. Dünndarmkapsel zur Videodokumentation der Dünndarmmorphologie

Eine weitere neue Entwicklung im Bereich der (Dünn-)Darmdiagnostik stellt die Kapselendoskopie dar. Die Darstellung der Darmzotten gelingt damit in hoher Bildqualität. Diese Art der Visualisierung des gesamten Dünndarms besitzt eine hohe Detektionsrate (*Yu 2002*).

Eine Videokapsel mit einem winzigen Mikrokamera-Chip kann oral eingenommen werden. Über die Peristaltik erfolgt der Transport durch den Gastrointestinaltrakt. Sensoren am Körper des Patienten empfangen die Signale der Kamera. Ein Datenrekoder, der an einem Gürtel um die Hüfte getragen wird, speichert die Signale. Durch die unterschiedliche Signalintensität an den Sensoren ist die zweite Generation der Kapselendoskope in der Lage eine Lokalisation der jeweiligen Bilder in zwei Dimensionen vorzunehmen. Etwa sechs Stunden lang werden während der Darmpassage zwei Bilder pro Sekunde aufgezeichnet, die später zum Beispiel mit Hilfe einer speziellen Software zu einem 20 Minuten langem Video komprimiert werden können. Indikationen stellen mittlerweile alle Erkrankungen des Dünndarms dar. Allerdings können Patienten nicht untersucht werden, bei denen Stenosen oder Divertikel erwartet werden. Kontraindikationen stellen ebenso die diabetische Gastroparese und die intestinale Pseudoobstruktion dar (*Golder 2002, Yu 2002*). Rabenstein (*Rabenstein et al. 2002*) sieht das Hauptrisiko der ansonsten sehr patientenfreundlich und leicht durchführbaren Untersuchung in der Darmobstruktion durch die Kapsel. Auch bei Schwangeren ist aufgrund fehlender Erfahrung diese Methode noch kontraindiziert (*1999*).

Derzeit ist die Kapsel-Endoskopie noch keine Alternative für die herkömmlichen Untersuchungen, aber sicher eine sinnvolle Ergänzung. Gerade im Bereich der okkulten Dünndarmblutungen sind deren Stärke und signifikante Überlegenheit zur Push-Enteroskopie zu sehen (*1999*).

1.3. Das Enteroklysm

1.3.1. Prinzip

Den Grundstein des heute vielfach angewendeten Enteroklysmas legte Sellink 1971 mit seiner Arbeit „Examinations of the small intestine by means of duodenal intubation“ (Sellink 1971). Er etablierte damit eine standardisierte klinisch akzeptierte Untersuchungstechnik zur Diagnostik von Dünndarmerkrankungen bzw. der Differentialdiagnose einer Reihe anderer Dünndarmerkrankungen.

Sellink betonte den hohen Stellenwert einer adäquaten Patientenvorbereitung im Sinne des Absetzens peristaltikhemmender Medikamente mehrere Tage vor der Untersuchung, einer speziellen Diät am Vortag bzw. Nahrungskarenz am Untersuchungstag und nicht zuletzt die Gabe oraler Laxantien. Nicht nur eine Reinigung des Dünndarms sei zur Vermeidung von Artefakten unabdingbar, sondern auch das Kolon sollte leer sein: Ein volles Zökum übt einen stark hemmenden Einfluss auf die Peristaltik im distalen Ileum aus, so dass wesentlich mehr Kontrastmittel zur Füllung der distalen Dünndarmanteile zugeführt werden muss. Zudem sind die Dünndarmschlingen im Unterbauch schwieriger frei zu projizieren. Außerdem dauere die Untersuchung länger (Miller et al. 1979, Sellink et al. 1981).

1967 wurde die sog. Bilbao-Dotter-Sonde mit einem steifen Führungsdraht eingeführt (Bilbao et al. 1967), die Sellink in etwas verlängerter Form verwendete. Er konnte die Sonde so bis zum Treitz'schen Band vorschieben. Um ein Aufrollen der Sonde im Magenfundus zu vermeiden, führte er die Sonde am stehenden Patienten ein, wobei er die orale Intubation favorisierte.

Sellink infundierte eine Bariumsuspension, deren spezifisches Gewicht er von der Statur des Patienten abhängig machte. Für asthenische Patienten wählte er eine geringere Dichte des Kontrastmittels als für Patienten mit durchschnittlichem Körperbau. Für adipöse Patienten setzte er eine Bariumsuspension mit hohem spezifischen Gewicht ein. Die Aufnahmespannung wurde ebenfalls entsprechend angepasst, um eine optimale Darstellung der Dünndarmschlingen schon im Monokontrast zu erzielen. Heute ist man weitgehend davon abgegangen.

Sehr früh wurde die Bedeutung der Infusionsgeschwindigkeit des Kontrastmittels klar: Eine zu hohe Instillationsrate führte zur Reflexatonie und zum Verlust der Peristaltik. Die Kontrastmittelmenge, die bis zum Erreichen des Zökums nötig ist, erhöht sich

unter diesen Umständen. Reflux in den Magen und die damit verbundene Übelkeit bzw. Erbrechen des Patienten seien weitere Wirkungen des zu hohen Flusses. Im Gegensatz dazu sei bei zu langsamer Kontrastmittelinstitution der Füllungszustand unbefriedigend und die Darstellungsqualität mit der traditionellen Dünndarmpassage vergleichbar (*Miller et al. 1979*).

Die Einlaufgeschwindigkeit des Kontrastmittels wurde durch die Aufhängehöhe der Infusionsbeutel variiert. Sellink empfahl Anfang der 70er Jahre eine Instillationsgeschwindigkeit von 100 ml/min, die er durch empirische Beobachtungen als optimal ansah. Sein Ziel war es, möglichst wenig Kontrastmittel zu applizieren, so dass kein Reflux in den Magen auftrat und das Zökum nach ca. 5 Minuten erreicht wurde. Dabei wurde dem auf der rechten Körperseite liegenden Patienten 600 ml Kontrastmittel innerhalb von 5-6 Minuten verabreicht. Nach den ausführlichen Untersuchungen von Oudkerk und Rijke (*Oudkerk et al. 1988*) empfahl auch Sellink eine Einlaufgeschwindigkeit von 75 ml/min mit entsprechenden Modifikationen bei Motilitätsstörungen. Um Übelkeit und Brechneigung zu reduzieren rückte Sellink von der Kontrastmitteltemperatur von 10-15°C zugunsten der Raumtemperatur ab.

Doppelkontrastdarstellungen hielt Sellink nur unter bestimmten Umständen und bei speziellen Indikationen angebracht, wie zum Beispiel der Konglomeratbildung von Ileumschlingen im kleinen Becken (*Miller et al. 1979, Sellink et al. 1981*). Seiner Auffassung nach würden im Doppelkontrast vermehrt Meckelsche Divertikel, Stenosen und prästenotische Dilatationen übersehen werden. Während die reiche Schleimhautfältelung im Jejunum im Doppelkontrast eher als hinderlich erachtet wurde, könnte sie im Ileum wertvolle Detailinformationen liefern. Er erreichte den Doppelkontrast durch Luftinsufflation –sowohl über die liegende Duodenalsonde als auch retrograd über das Rektosigmoid. Die retrograde Darstellung schloss er dem Enteroklysm an. 1985 griffen Fitzgerald et al. (*Fitzgerald et al. 1985*) diese Idee erneut auf. In fast zwei Drittel der Fälle konnte eine verbesserte Darstellung der fragwürdigen Bereiche durch die Doppelkontrasttechnik mit Luft verzeichnet werden. Eine Wasserverabfolgung im Anschluss an die Gabe des Bariums hielt Sellink nur für sinnvoll, um den Füllungszustand des Ileums zu verbessern, eine bessere Darstellung des Ileozökalgabietes zu erreichen oder eine erforderliche Darmreinigung präoperativ bzw. bei chronischer Obstipation zu forcieren.

Eine mehrmalige sorgfältige aber kurzzeitige Durchleuchtung sollte dem Untersucher

einen Eindruck über Spasmen und eventuelle retro-spastische Bewegungen geben. Bezüglich der Dokumentation sollten sämtliche Dünndarmabschnitte mittels Übersichts- und Zielaufnahmen erfasst werden, wobei Kompressionsaufnahmen nicht auf das terminale Ileum beschränkt sein sollten.

Sellink selbst betrachtet das Enteroklysma als Standardmethode zur Dünndarmdiagnostik und hält die konventionelle Dünndarmpassage nur bei psychisch gestörten Patienten, bei denen die Intubation nicht möglich ist, für indiziert (*Sellink et al. 1981*).

1.3.2. Modifikationen

1.3.2.1. *Modifikationen der Kontrasttechnik*

Während Sellink an seiner ursprünglich beschriebenen Methodik festhält (*Miller et al. 1979, Sellink et al. 1981*), unterlag die Untersuchungstechnik zahlreichen Modifikationen durch andere Untersucher. Die Veränderungen beliefen sich vornehmlich auf die Entwicklung verschiedener Doppelkontrasttechniken und der Einführung neuer technischen Hilfsmittel, wie beispielsweise der Pumpe oder modifizierten Sonden.

Ghélew und Mengis (*Ghélew et al. 1938*), Gershon-Cohen und Shay (*Gershon-Cohen et al. 1939*) sowie Ekberg (*Ekberg 1977*) griffen die angewandte Doppelkontrasttechnik mit Luft auf. Sobald die Kontrastmittelsäule die Ileozökalregion erreicht hat, wird über die Duodenalsonde Luft insuffliert. Noch heute ist diese Technik in Japan weit verbreitet. Im allgemeinen stößt diese Methode durch die schlechte Reproduzierbarkeit, Unbehagen beim Patienten und die schlechtere Darstellung des terminalen Ileums auf geringere Akzeptanz (*Rex et al. 1991*).

Verschiedentlich wurde die Verabreichung von Wasser zur Erlangung des Doppelkontrastes empfohlen, wobei Geiter und Fuchs (*Geiter et al. 1977*) nach 600 bis 1200 ml Bariumsulfat zwischen 500 und 1000 ml Wasser zur „Verstärkung des Transparenzeffektes“ instillierten.

Die von Trickey et al. (*Trickey et al. 1963*) entwickelte Doppelkontrasttechnik mit Ethylzellulose wurde von Herlinger (*Herlinger 1978*) mit Methylzellulose durchgeführt. Diese Technik ist bis heute die am weitesten verbreitete. Der Verabreichung von einer relativ geringen Menge – ca. 200 ml- Bariumsulfat mit hoher Dichte (80-90 g/Vol%) folgt die Instillation von bis zu zwei Litern einer 0,5%igen Methylzellulose-Lösung.

Lappas und Maglinte (*Lappas et al. 1990*) verfeinerten dieses Vorgehen, in dem sie von einem biphasischen Enteroklysma sprachen. Sie kombinierten damit die Vorteile der Monokontrastdarstellung mit denen des Doppelkontrastes. Nach der Gabe von 400-500 ml Bariumsulfat mittleren spezifischen Gewichtes (50 g/Vol%) „schieben“ die nachfolgend verabreichten bis zu 2 l Methylzellulose-Lösung die Kontrastmittelsäule vor sich her. Der bestehende Monokontrast wird also nachfolgend vom Doppelkontrast abgelöst und die Darmabschnitte können so in beiden Kontrasttechniken dargestellt werden. Im Unterschied zur von Herlinger beschriebenen Technik reicht dieser Bariumsulfatansatz aus, um einen zufriedenstellenden Monokontrast zu gewährleisten.

1.3.2.2. *Modifikationen der Kontrastmittel*

Desaga (*Desaga et al. 1984, Desaga 1987b, Desaga 1989*) verfolgte das Konzept der mukolytischen Vorbehandlung des Patienten mit Acetylcystein und der Verwendung einer hochmolekularen Guarinfraction, um sowohl Qualität als auch Stabilität des Wandbeschlages zu erhöhen. Guarin wurde in geringer Menge auch dem Kontrastmittel beigemischt, diente aber vornehmlich als Distensionsmedium. Guar besitzt als eine Fraktion von Galaktomannanen –chemisch nach Vernetzungsgrad, Viskosität und Mesh-Weite definiert- eine höhere Affinität zur Dünndarmschleimhaut als andere viskositätssteigernde Quellmittel (*Desaga et al. 1984, Desaga 1987a*). Damit erlangte er eine gleichmäßige Transparenz des gesamten Dünndarms mit einer feinen, granulären Schleimhautzeichnung, die er maßgeblich auf die Dickenminderung und niedrigere Viskosität der Schleimhaut zurückführte. Er postulierte, dass sich so verstärkt Barium zwischen den Zotten ansammle. Die Zotten seien also als weniger opake Elemente von einem Kontrastmittelsaum umgeben dargestellt (*Desaga et al. 1984*). Mechanismen dieses Phänomens seien laut Desaga zum einen die sehr hohe Oberflächenaktivität von Guar, die auf die Vernetzungsstruktur zurückzuführen ist. Zum anderen wirkt Guar in wässriger Lösung durch seine kolloidalen Eigenschaften als Schutzkolloid stabilisierend auf die Kontrastmittellösung. So wird ein Ausfällen des Kontrastmittels vermieden. Kontrastmittel ohne Guarzusatz reagiert als gepuffertes kolloidales System auf pH-Wertänderungen und Verdünnungen mit Stabilitätsverlust, Koagulation und Verlust der Benetzungsfähigkeit was somit die Abbildungsqualität mindert.

1.3.2.3. *Modifikationen der Untersuchungstechnik*

Da das Enteroklysma aufgrund der Sondenplatzierung distal des Treitz'schen Bandes

Läsionen des distalen Duodenums kaum erfasst, schlug Bach (*Bach 1987*) vor, während des Zurückziehens der Sonde am Ende der Untersuchung nochmals Bariumsulfat zu instillieren und so das Duodenum zumindest im Monokontrast darzustellen. Zalev und McLennan (*Zalev et al. 1991*) gingen bei ihrer „hypotonen Doppelkontrast-Duodenographie“ noch einen Schritt weiter, in dem sie Buscopan/ Glucagon zur Hypotonie benutzten.

Anfang der 90er Jahre hielt auch die CT Einzug in die Dünndarmuntersuchung. Thiele (*Thiele et al. 1993*) berechnete in der nach dem Enteroklysma durchgeführten Computertomographie –und somit bei optimal distendiertem Darm– die Darmwanddicke und –dicke. Einsatzmöglichkeiten seien laut des Autors jedoch eher die Früherkennung chronisch entzündlicher Darmerkrankung und anderer vorwiegend intramural gelegener Prozesse. 1996 führte Bender et al. das CT-Enteroklysma bei Subileus-Symptomatik durch. Er konnte zeigen, dass die erforderliche Strahlenbelastung bei dem CT-Enteroklysma mit 27 rad um 5 rad geringer ist als bei dem konventionellen durchleuchtungsgesteuerten Enteroklysma mit 32 rad. Schwierigkeiten ergaben sich allerdings bei der Beurteilung von Hernien und Darmtorsionen (*Bender et al. 1996*).

Von Shoenut et al. (*Shoenut et al. 1994*) wurde die Magnetresonanz-Tomographie mit der Enteroklysma-Technik verbunden. Während Kettritz (*Kettritz et al. 1995a*) und Shoenut (*Shoenut et al. 1994*) zunächst nur eine T1-gewichtete fatsuppressed MRT mit Gadolinium durchführten, kombinierten Holzknicht et al. (*Holzknicht et al. 1998*) die i.v.-Kontrastierung mit einer Gabe oraler Eisenpartikel, die mit Methylzellulose vermischt waren. Kettritz (*Kettritz et al. 1995b*) fand in der Zusammenschau der Ergebnisse der Kontrastverstärkung der Darmwand, Wanddicke und Länge des erkrankten Darms eine sehr gute Korrelation mit den klinischen Aktivitätsindices des Morbus Crohn. Shoenut hält in der Beurteilung der Krankheitsschwere und Differentialdiagnose zwischen M. Crohn und Colitis ulcerosa die MRT durchaus mit der Endoskopie vergleichbar. Transmurale Ausdehnung, Sagittalschnittbilder und die fehlende Invasivität und Strahlenbelastung sind attraktive Vorteile (*Shoenut et al. 1994*). Gerade bezüglich der intra- und extraluminalen Veränderungen kann die MRT wichtige Zusatzinformationen liefern (*Aschoff et al. 1997*).

Cohen und Barkin (*Cohen et al. 1989*) kombinierten Enteroskopie und Enteroklysma, in dem sie nach der Endoskopie über den Arbeitskanal einen Führungsdraht

vorschoben, über den sie dann in Anlehnung an die Seldinger-Technik eine Dünndarmsonde zur Kontrastmittelverabreichung vorbrachten. Leider ist diese Technik, trotz der auf der Hand liegenden Vorteile der endoskopischen, histologischen und radiologischen Möglichkeit der Beurteilung aufgrund des sehr hohen Arbeits- und Zeitaufwandes nicht in der Routine einsetzbar. Bender et al. (Bender et al. 1994) gewann über die liegende Dünndarmsonde Biopsien. Diese Methode ist vor allem bei Verdacht auf Erkrankungen sinnvoll, die mit generalisierten Veränderungen der Dünndarmschleimhaut einhergehen, wie beispielsweise Malabsorptionssyndrome.

1.3.2.4. Modifikationen der Instillationstechnik

Neben den dargestellten Weiterentwicklungen gab es eine Reihe von Modifikationen, die zum Ziel hatten, die Patientenakzeptanz zu steigern bzw. eine gewisse Standardisierbarkeit und Untersuchungserleichterung für den Arzt zu erreichen. Verschiedenste Sonden und Sondentypen wurden eingesetzt, die sich jedoch lediglich in Material, Länge, Durchmesser und dgl. geringfügig unterschieden.

Beträchtliche Fortschritte erfuhr die Technik als die Kontrastmittelpumpe die Applikation der beiden Medien übernahm. Variationen der Instillationsrate wurden bis dato über unterschiedliche Höhen der Kontrastmittelbeutel gesteuert, wobei die Rate jeweils experimentell ermittelt wurde (Sellink et al. 1981). Sowohl die Verwendung von Spritzen (Taucer et al. 1986) als auch handbetriebene Plastikpumpen (Maglinte et al. 1982) erlaubten keine genaue Wahl der Flussrate. Trüber und Fuchs (Trüber et al. 1981), später auch Abu-Yousef et al. (Abu-Yousef et al. 1983), machten auf die Vorteile der Verwendung von elektrischen Dialysepumpen zur Kontrastmittelinstitution aufmerksam. Wesentlicher Pluspunkt ist zum einen die verlässliche und konstante Wahl der Flussrate. Auch eine Anpassung an die patientenindividuelle Motilität wurde nun erleichtert und die Untersuchungszeit konnte durch die gleichmäßig erzielte Distension verkürzt werden. Gastroduodenaler Reflux und technische Probleme konnten nun verringert, die Patientenakzeptanz verbessert werden (Goei et al. 1988). Methodisch bedeutsam ist die mit dem Einsatz von Pumpen mögliche Untersuchungsstandardisierung. Oudkerk und Rijke (Oudkerk et al. 1988) unterstrichen in ihrer Studie, in der sie die Anwendung unterschiedlicher konstanter Flussraten verglichen, die Bedeutung der Instillationgeschwindigkeit für die Qualität des Enteroklysmas. Sie konstatierten, dass mit einer Rate von 75 ml/min begonnen werden sollte, die dann je nach Motilitätssituation nach unten bei Hypo- und nach oben

bei Hyperperistaltik korrigiert werden sollte. Antes (*Antes 1998a*) verfährt ähnlich, betont aber die Beibehaltung der konstanten Instillationsgeschwindigkeit von 75 ml/min, um z.B. einen „intestinal hurry“ nachweisen zu können.

1.3.3. Vor- und Nachteile des Enteroklysmas

Bezüglich des diagnostischen Wertes steht das Enteroklysmas als Doppelkontrastdarstellung im Kontext der Kontrastmitteluntersuchungen des oberen und unteren Gastrointestinaltraktes, nämlich Magendarmpassage und Kolonkontrasteinlauf. Dabei stehen vollständige Entfaltung des Lumens und lückenlose, transparente Schleimhautabbildung klar im Vordergrund.

Die Vorteile des Enteroklysmas sind sicher bei der direkten Kontrastmittelapplikation in das darzustellende Hohlorgan zu suchen. Dadurch wird die Vermischung von Magensaft und Kontrast- bzw. Distensionsmittel vermieden.

Die Pylorusfunktion führt bei oraler Gabe des Kontrastmittels zu einer Fraktionierung der Kontrastmittelsäule, so dass eine kohärente Darstellung mit Prallfüllung des Lumens nicht erreicht werden kann. Beim Enteroklysmas hingegen kann die Instillation vom Untersucher kontrolliert und entsprechend der patientenindividuellen Gegebenheiten moduliert werden, so dass eine suffiziente Darmdistension und damit auch eine ausreichende Darstellungsqualität in den meisten Fällen erreicht werden kann. Die Reproduzierbarkeit und damit die Möglichkeit intraindividuellen Vergleichbarkeit haben sich verbessert.

Erst die volle Distension der Darmschlingen beim Enteroklysmas lässt die Beurteilung der entfalteten Schleimhaut zu (*Cohen et al. 1989, Lappas et al. 1990, Rex et al. 1991*), die dann auch zum Erkennen kleinerer Mukosaläsionen führt. Die Ausdehnung beispielsweise entzündlicher Prozesse lässt sich zuverlässig erfassen. Kurzstreckige Stenosen treten deutlich hervor (*Rex et al. 1991*). Durch die Umlagerung der distendierten Darmschlingen bzw. gezielter Palpation unter Durchleuchtung können extraintestinale Raumforderungen abgegrenzt werden.

Die von energischen Verfechtern der konventionellen Dünndarmpassage angeführte Kritik, man könne unter unphysiologischen Bedingungen nicht auf die physiologische bzw. pathologische Situation der Motilität schließen, lässt sich nicht aufrechterhalten (*Oudkerk et al. 1988*). Gerade in der Anfangsphase der Untersuchung bei adäquater Instillationsgeschwindigkeit werden Motilitätsstörungen nicht verschleiert. Erst nach der

Einschätzung der vorliegenden Darmtätigkeit erfolgt die Änderung der Instillationsrate. Durch das Ausmaß der notwendig werdenden Änderung der Flussrate kann die Motilitätsstörung weitergehend objektiviert werden.

1.3.3.1. Methodenbewertung

Die Methode des Enteroklysmas besitzt eine hohe Spezifität, d.h. sie kann verlässlich eine Dünndarmerkrankung ausschließen (*Lappas et al. 1990, Maglinte et al. 1984b, Rex et al. 1991*), wie retrospektive Langzeitstudien an Patienten mit negativem Enteroklyismaergebnis zeigen konnten (*Barloon et al. 1994, Vallance 1981*). Durch die hohe Zuverlässigkeit des Enteroklysmas können bei den symptomatischen abdominalen Erkrankungen die Differentialdiagnosen eingeschränkt werden.

Folgende Tabelle beschreibt die Ergebnisse unterschiedlicher Autoren bezüglich der Sensitivität und Spezifität des Enteroklysmas gegenüber pathologischen Befunden im Bereich des Dünndarms.

Tabelle 1: Sensitivität und Spezifität des Enteroklysmas. Ergebnisse unterschiedlicher Autoren.

	Sensitivität	Spezifität
Barloon et al. 1994 (<i>Barloon et al. 1994</i>)	-	92,0%
Dixon et al. 1993 (<i>Dixon et al. 1993</i>)	93,1%	96,9%
Goei et al. 1988 (<i>Goei et al. 1988</i>)	94,0%	97,0%
Link et al. 1993 (<i>Link et al. 1993</i>)	67,7%	-
Ott et al. 1985 (<i>Ott et al. 1985</i>)	94,0%	89,0%

Rödl et al. 1986 (<i>Rödl et al. 1986</i>)	85,0%	97,7%
---	-------	-------

Durch die Beeinflussung der Motilität kann die Transitzeit verkürzt werden, was eine Ausflockung des Kontrastmittels verhindert. Des weiteren kann die Untersuchungsdauer zuverlässiger abgeschätzt werden, was die organisatorische Planung sehr erleichtert.

1.3.3.2. Patientenverträglichkeit

Als unangenehmer und belastender Teil der Untersuchung für den Patienten ist sicher die Sondenplatzierung anzusehen, die nicht unwesentlich die Gesamtdurchleuchtungszeit verlängert. Antes hingegen spricht allerdings davon, dass das Trinken großer Mengen Kontrastmittel innerhalb kurzer Zeit für den Patienten unangenehmer sei, als die Applikation der Sonde (*Antes 1993b*).

Nebenwirkungen und Komplikationen des Enteroklysmas sind selten und meist nicht gravierend (*Hippeli et al. 1978, Russell 1986*). Übelkeit und Erbrechen können auf einen eventuellen gastroduodenalen Reflux zurückgeführt werden (*Lappas et al. 1990*). Nach der Untersuchung kann es zu einer Diarrhö kommen, die auf die Zufuhr der großen Flüssigkeitsmenge (*Halpert et al. 1985*) und der leicht laxierenden Wirkung des Guarans zurückzuführen ist und meist nicht lange dauert. Vorübergehende EKG-Veränderungen im Sinne einer Sinustachykardie, atriale oder ventrikulärer Extrasystolen, fanden sich häufig während und nach der Untersuchung. *Kelekis et al. (Kelekis et al. 1993)* führten dies auf einen erhöhten Sympatikotonus aufgrund des psychischen Stresses und der Darmdistension zurück. Die Veränderungen können jedoch als ungefährlich bewertet werden. Die große Flüssigkeitszufuhr während der Untersuchung zieht nach *Barloon und Franken (Barloon et al. 1985)* keine klinisch signifikanten Elektrolytverschiebungen im Blut nach sich.

1.3.3.3. Komplikationen

Schwere Komplikationen werden nur kasuistisch berichtet (*Davis et al. 1995, Halliday et al. 1993*). Beschrieben werden der Fall einer duodenalen Perforation infolge einer Fehlpositionierung der Dünndarmsonde und eine Kasuistik einer Ruptur proximal eines ischämischen Dünndarmsegmentes mit inkompletter Stenose bei einer multimorbiden 72jährigen Patientin (*Ginaldi 1991*).

1.3.3.4. Strahlenbelastung

Ein prinzipieller Nachteil des Enteroklysma ist sicher die hohe Strahlenbelastung, die auf die notwendige Durchleuchtung zurückzuführen ist (*Hart et al. 1994, Maglinte et al. 1982, Ott et al. 1985, Thoeni et al. 1991*). Einige Autoren empfehlen daher, bei unspezifischer Symptomatik („low suspicion“) und besonders bei sehr jungen Patienten als primäre diagnostische Maßnahme die konventionelle perorale Untersuchung zu favorisieren (*Baath et al. 1989, Link et al. 1993, Lintott et al. 1984*). Überwiegend geht man jedoch davon aus, dass durch die hohe Spezifität ein Enteroklysma als Primärdiagnostik bei diesen Patienten der strahlenärmere Weg ist, als bei einer eventuell negativen Darmpassage mit geringerer Spezifität aber weiterhin bestehendem Verdacht einer Dünndarmerkrankung ein Enteroklysma als Zweituntersuchung durchzuführen (*Antes 1993b, Hart et al. 1994, Lappas et al. 1990, Maglinte et al. 1984c*). Schwierigkeit ist und bleibt –wie bei der konventionellen Dünndarmpassage gleichermaßen– die Darstellung des terminalen Ileums. Die Darstellungsqualität der Dünndarmabschnitte nimmt von oral zu aboral ab (*Fleckenstein et al. 1975, Hippeli et al. 1978, Rodl et al. 1986, Ruhe 1996*).

1.3.4. Indikationen

Die Indikationen zum Enteroklysma umfassen sowohl Ausschluss als auch Diagnose von primär im Dünndarm lokalisierten Erkrankungen. Darüber hinaus können sekundäre Erkrankungen des Dünndarms im Sinne eines Dünndarmbefalls bei Systemerkrankungen erfasst werden. Die folgende Tabelle fasst die Indikationen zusammen:

Tabelle 2: Indikationen zum Enteroklysma (linke Spalte) mit Abgrenzung zur Differentialdiagnose (rechte Spalte) (Bakker et al. 1988, Chen et al. 1991, Einstein et al. 1993, Finke 1987, Geiter et al. 1977, Hildell 1990, Hippeli et al. 1978, Laufer 1995, Link et al. 1993, Lintott et al. 1984, Maglinte et al. 1984c, Schmutz 1989, Van Gossum et al. 1989, Young et al. 1992)

Ausschluss/Diagnose/ Verlaufskontrolle Differentialdiagnose	
(chronisch) entzündliche Darmerkrankungen	
Tumoren	
Unklare abdominelle Schmerzen	
(chronische) Diarrhö unklarer Genese	
(chronisch) rezidivierender Subileus	paralytische und mechanische Ursachen
Differentialdiagnose von Obstruktionen und Passagehindernissen	Adhäsionen, Tumoren
Änderung der Stuhlgewohnheiten	Diarrhö/ Obstipation/ Steatorrhoe als Hinweis auf Karzinom oder malignes Dünndarmlymphom
Malabsorptionssyndrom unklarer Genese	
Systemerkrankung mit Dünndarmbefall	
Gastrointestinale Blutung	Meckelsches Divertikel, Angiodysplasie, entzündliche oder maligne Veränderungen
Strahlenenteritis	
Karzinoidsyndrom	
Befunde, die primär nicht an eine Dünndarmerkrankung denken lassen, aber durch andere diagnostische Maßnahmen nicht haben geklärt werden können:	
Länger bestehendes Fieber	Dünndarmlymphom

Gewichtsverlust	asymptomatischer M.Crohn, Karzinom
Anämie	okkulte Blutung, Malabsorption
Ödeme	exsudative Enteropathie
Hypalbuminämie	
Antikörpermangelsyndrome	

Einige der oben genannte Indikationen sind als Einzelsymptome recht unspezifisch, so z.B. Bauchschmerzen, Erbrechen und Diarrhö. Deren Differentialdiagnosen sind zahlreich (*Hildell 1990*).

Der Beitrag des Enteroklysmas zur korrekten Diagnose ist bei diesen Einzelsymptomen eher gering, so dass der primäre Einsatz für diese Fälle fragwürdig ist (*Gurian et al. 1982*). Je härter der Verdacht auf eine Dünndarmerkrankung ist und je spezifischer die Symptomatik, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass das Enteroklyσμα wegweisend ist (*Link et al. 1993, Rodl et al. 1986*). Nach Rex et al. (*Rex et al. 1991*) und Maglinte et al. (*Maglinte et al. 1987*) ist die Wahrscheinlichkeit einer Dünndarmerkrankung bei folgenden Symptomen besonders hoch (High-suspicion-Fälle):

- Diarrhöen mit klinischem und laborchemischem Anhalt für eine Malabsorption
- Okkulte Blutung mit unauffälligen Untersuchungsergebnissen des oberen und unteren Magendarmtraktes
- Periumbilikale, krampfartige Schmerzen und/oder Schmerzen im rechten unteren Quadranten (vor allem, wenn mit Übelkeit und Erbrechen verbunden und bei vorausgegangen Operationen im Bauchraum)
- Abnorme Luftverteilungsmuster auf der Abdomenübersichtsaufnahme
- M. Crohn des Kolon
- Enterokutane Fisteln
- Dünndarmerkrankungen in der Vorgeschichte

Das Enteroklysma hat sich zum Nachweis und zur Differentialdiagnose einer Dünndarmobstruktion (Tumoren, postoperative Strikturen, entzündliche Adhäsionen) etabliert (*Bessette et al. 1989, Gelfand 1986, Maglinte et al. 1984a, Maglinte et al. 1984d, Massoud et al. 1991, Shrake et al. 1991*). Durch hohe Instillationsraten lassen sich vor Engstellen Dilatationen erzeugen, die zur Verdeutlichung der Stenose beitragen, die unter Umständen bei einer konventionellen Darmpassage nicht zur Darstellung gekommen wären. Bei vermuteter Dünndarmobstruktion ist das Enteroklysma Mittel der Wahl, während der Kolonkontrasteinlauf bei Verdacht auf Kolonobstruktion kontraindiziert ist. Da das Kontrastmittel –im Gegensatz zum Kontrastmittel des Kolonkontrasteinlaufes- nicht eindickt, kommt es bei Vorliegen einer Stenose nicht zur vollständigen Obstruktion. Ein Enteroklysma ist keine Kontraindikation für eine anschließende Laparotomie.

Das Enteroklysma wird zur Suche nach okkulten Blutungsquellen benutzt, wenn die Untersuchungen des oberen und unteren Gastrointestinaltraktes unauffällig waren. Positive Untersuchungsergebnisse sind allerdings selten (*Moch et al. 1994*), zumal gastrointestinale Blutungsquellen nur in 5% der Fälle im Dünndarm zu finden sind.

1.3.5. Kontraindikationen

Als *Kontraindikationen* des Enteroklysmas gelten:

- Verdacht auf Perforation des Gastrointestinaltraktes
- Akutes Abdomen
- Peritonitis
- Hochgradige Obstruktionen im distalen Ileum oder im Kolon

Relative Kontraindikationen sind (*Antes 1993b, Bakker et al. 1988*):

- Herzinsuffizienz
- Niereninsuffizienz

1.4. Anatomie, Physiologie und Pathophysiologie des Dünndarms unter besonderer Berücksichtigung der Motilität

In situ beträgt die Länge des Dünndarms ca. 3-5 m, wobei dies maßgeblich von der Füllung und dem Tonus der Wandmuskulatur abhängig ist. Er trägt somit zu 75% zur

Gesamtlänge des Darmes bei und stellt 90% der Schleimhautoberfläche des Darmes (*Maglente et al. 1996*).

Man unterscheidet drei Anteile:

- a) Duodenum
- b) Jejunum
- c) Ileum

1.4.1. Anatomie

Das Duodenum ist insgesamt 25-30 cm lang und kommt sekundär retroperitoneal zu liegen. Es umrandet in Form eines „C“ den Pankreaskopf. Ein Bindegewebsstrang, die Fascia retinens rostralis oder klinisch auch das Treitz'sche Band genannt, aus der Umgebung des Hiatus aorticus des Zwerchfells und des Truncus coeliacus und A. mesenterica superior zieht zur Flexura duodenojejunalis, dem Übergang zum Jejunum und somit zu den intraperitoneal gelegenen Dünndarmanteilen. Die so fixierte Lokalisation des Zwölffingerdarmes erlaubt es, diesen wiederum in eine Pars superior, Pars descendens, Pars horizontalis und Pars ascendens einzuteilen.

Jejunum und Ileum bilden zusammen das Dünndarmkonvolut, wobei das Jejunum die oberen 2/5 und das Ileum die unteren 3/5 einnimmt. Jejunumschlingen projizieren sich normalanatomisch meist in den linken oberen, während Ileumschlingen im rechten unteren Abdominalraum lokalisiert sind. Allerdings variieren Lage und Ausbildung sehr stark. Sie sind durch das Mesenterium beweglich mit der hinteren Bauchwand verbunden. Das Ileum endet an der Valva ileocecalis, der Ileocecalklappe oder klinisch Bauhinsche Klappe, die ein Einschwemmen der Dickdarmflora in den Dünndarm verhindert (*Frick et al. 1992*).

Bei der Betrachtung mit dem bloßen Auge fallen im Dünndarm ca. 1 cm hohe quer zur Verlaufsrichtung (oder spiralig angeordnete) Falten auf, die sog. Kerckring-Falten. Die Dichte und die Höhe dieser Plicae sind im Duodenum am größten/höchsten und nehmen nach distal ab, um im Ileum kaum noch aufzufallen. Sie tragen zu einer Vergrößerung der Oberfläche um den Faktor 1,5 bei. Eine weitere Vergrößerung erfolgt durch Dünndarmzotten, den Villi intestinales. Im Duodenum haben sie eine blattförmige Gestalt, nach distal werden sie fingerförmig. Diese Aufwerfungen der Mukosa vergrößern nochmals um das fünffache. Durch Mikrovilli der

Darmepithelzellen erweitert sich die Oberfläche um das 200-250fache, so dass mehr als 100 m² resorbierende Oberfläche zur Verfügung steht. Neben den Ausstülpungen in das Lumen hinein findet man im Darm zwischen den Zotten Vertiefungen, die Krypten. Von dort aus erfolgt auch der Zellersatz. Die Kryptentiefe nimmt nach distal hin zu (Arnold 1991, Junqueira et al. 1991).

Im Mesenterium ziehen Blut- und Lymphgefäße zum Dünndarm. Während das Duodenum aus der A. hepatoduodenalis, einem Ast der A. hepatica communis versorgt wird, beziehen Jejunum und Ileum ihre Nährstoffe aus der A. mesenterica superior, deren Äste funktionelle Endarterien darstellen. Der venöse Abfluss erfolgt über die V. mesenterica superior, die nach der Vereinigung mit der V. splenica als V. portae zur Leber zieht. Der Lymphabfluss erfolgt aus Lymphkapillaren der Darmzotten. Nach Passage einiger Lymphknoten vereinigen sie sich zum Truncus intestinalis, der in die Cisterna chyli mündet. Durch die dichte Verzweigung des Kapillar- und Lymphsystems unter der resorbierenden Oberfläche wird sowohl der Stoffan- als auch der Stoffabtransport gewährleistet.

1.4.2. Physiologie

Physiologisch übernimmt der Dünndarm folgende Aufgaben:

- Vermischung des Chymus mit den Pankreassekreten und der Galle (Verdauung)
- Resorption der daraus entstehenden Spaltprodukte
- Weitertransport des Chymus nach aboral
- Sekretion verschiedener Hormone (Serotonin, Substanz P, Gastrin, Cholezystokinin, Sekretin, Gastroinhibitorisches Peptid, Somatostatin, Vasoaktives intestinales Polypeptid (VIP), Enteroglukagon (Junqueira et al. 1991))
- Immunologischer Schutz (gewährleistet von dem darmassoziierten lymphatischen Gewebe (GALT= gut associated lymphatic tissue); u.a. wird auch IgA produziert)

1.4.2.1. Resorption

Der Abbau der Nahrungsbestandteile, der in den vorausgehenden Teilen der Verdauungsorgane begonnen hatte, wird so weit fortgesetzt, dass resorbierbare Grundbestandteile entstehen:

Monosaccharide, die aus dem Kohlenhydratabbau stammen, der bereits in der Mundhöhle beginnt, wird im Dünndarm zu Ende geführt. Die Absorption der Monosaccharide durch die Enterozyten erfolgt –abgesehen von den Disaccharidasen

des Bürstensaums- ohne sichtbares morphologisches Korrelat. Für Glukose und Galaktose besteht eine selektive, hohe Resorptionsrate mit einem aktiven Transport.

Aminosäuren werden im Duodenum durch die Proteasen und Exopeptidasen des Pankreassaftes aus Proteinen gewonnen. Die Proteinverdauung beginnt mit Hilfe des Pepsins im Magen. Es werden nicht nur Nahrungsproteine abgebaut und aufgenommen, sondern auch die Proteine der Verdauungssäfte und die der in den Verdauungsorganen abgeschilferten Zellen. Aufgenommen werden außer Aminosäuren auch Di- und Tripeptide, in sehr geringem Maße auch Proteine. Neugeborene scheinen in der Lage zu sein, die mit der Muttermilch aufgenommenen Antikörper zu resorbieren. Man geht davon aus, dass diese durch Endozytose von den Enterozyten aufgenommen werden. Diese Fähigkeit scheinen die Zellen jedoch im Laufe der Zeit zu verlieren. Kommt es zur Zerstörung der Epitheloberfläche können unter Umständen unverdaute Proteine im Blut nachgewiesen werden.

Fettsäuren: Kurzkettige Fettsäuren, die auch relativ gut wasserlöslich sind, können leicht von den Enterozyten aufgenommen werden. Langkettige und Monoacylglycerine hingegen werden im Dünndarm lumen unter Mitwirkung von Gallensalzen zu 3-6 nm großen Mizellen aufgespalten. Nach Abspaltung der Gallensalze im Jejunum werden diese per Pinozytose von den Enterozyten aufgenommen. (Die Gallensalze werden gesondert im Jejunum resorbiert.) Über das glatte endoplasmatische Retikulum und den Golgi-Apparat der Zelle gelangen die Fette nun als sog. Chylomikronen (Lipoproteine) schließlich in die Lymphe. Die Fettresorption ist in der ersten Jejunumhälfte abgeschlossen.

Wasser und Mineralstoffe werden transzellulär, überwiegend jedoch interzellulär aufgenommen. Durch Verdauungssäfte und aufgenommener Flüssigkeit fallen täglich bis zu 7,5 l Wasser an. Die Aufnahme von Flüssigkeit und Mineralstoffen ist wichtig für die Aufrechterhaltung des inneren Milieus.

Die Resorption ist nahezu vollständig im proximalen Dünndarm abgeschlossen, nur Vitamin B₁₂ und die Gallensalze werden gesondert im Jejunum resorbiert.

1.4.2.2. Sekretion

Die endokrinen Zellen des Dünndarms gehören zum gastroenteropankreatischen System und somit zum hormonalen Regelsystem der Verdauungsorgane. Bemerkenswert ist, dass ein Teil der Hormone des enteroendokrinen Systems im

Nervensystem als Neurohormone bzw. als Transmitter vorkommen. Sie nehmen im Magendarmtrakt u.a. Einfluss auf die Säuresekretion des Magens, die Tätigkeit der Gallenblase (Cholecystokinin), die exokrine und endokrine Funktion des Pankreas und die Motilität und Durchblutung des Magen-Darm-Kanals, das Sekretionsverhalten der Darmdrüsen und die Nahrungsresorption, sowie auf den Kohlenhydratstoffwechsel. Manche Hormone sind in ihrer Bedeutung noch nicht verstanden, wenn auch ihre Wirkung bereits bekannt ist.

1.4.2.3. Immunologie

Der Organismus schützt sich vor den schädigenden Einflüssen der mit der Nahrung aufgenommenen Keime und Antigene mit seinen Verdauungssäften, mit einer dem Darmepithel vorgelagerten Saft- und Stoffschicht (präepitheliale Barriere), aber auch durch Anteile des Abwehrsystems, die in den Wänden des Verdauungskanals untergebracht sind. Zu dem darmassoziierten lymphatischen Gewebe (GALT) gehören im einzelnen:

- diffus verteilte intraepitheliale Lymphozyten, sowie Lymphozyten in der Lamina propria
- Lymphfollikel in Dün- und Dickdarm (Peyer Plaques, vor allem im Ileum)
- Epithel über solitären und aggregierten Lymphfollikeln

Daraus ist zu erklären, dass bei Antikörpermangelsyndromen Veränderungen der Dünndarmmorphologie entstehen können, die unter Umständen auch im Röntgenbild dargestellt werden können.

1.4.3. Motilität

Ein intramurales Nervensystem gewährleistet eine Autonomie der Dünndarmmotilität. Diese Autonomie wird von dem intramuralen Nervensystem des Darms gewährleistet, dass sich aus dem Plexus submucosus Meißner, der die Eigenbeweglichkeit der Mucosa steuert und dem Plexus myentericus Auerbach, der zwischen der inneren und äußeren Längsmuskulatur die Funktion der Tunica muscularis reguliert, zusammensetzt. Der Plexus submucosus erhält besonders viele Efferenzen der sensorischen Chemo- und Mechanorezeptoren der Mucosa. Mit den Signalen der Dehnungsrezeptoren der Muskulatur zusammen können über viszeral-afferente Fasern Reflexe ausgelöst werden.

Die Aktivität dieses enteralen Nervensystems wird durch das vegetative Nervensystem moduliert. Postganglionäre sympathische Efferenzen aus dem Ganglion coeliacum superius bzw. dem Ganglion mesentericum superius wirken vasokonstriktorisch und Hemmen die Motoneurone der Plexus myentericus, was zu einer Erschlaffung der Darmmuskulatur führt. Parasympathische Efferenzen, die im Plexus myentericus umgeschaltet werden, aktivieren die Muskelzellen und Drüsen des Darms. Das zentrale Nervensystem und die im Gastrointestinaltrakt gebildeten Hormone bzw. Neurotransmitter können ebenfalls eine Modulation der Motilität bewirken.

1.4.3.1. Physiologische Betrachtungen

Bayliss und Starling erklärten 1899 erstmals das „Law of the intestine“ als einen Mechanismus der Peristaltik. Danach wird nach einer Reizung der Schleimhaut bzw. einer Darmwanddehnung ein Impuls bidirektional fortgeleitet. Proximal des Reizes kommt es durch eine Erregung zu einer Kontraktion, distal zu einer Erschlaffung der Darmwand durch die nervale Inhibition (*Ewe et al. 1990*).

Generell besteht die Dünndarmmotorik aus zwei Komponenten:

- Nichtpropulsive Mischbewegungen
- Propulsive Peristaltik

Die nichtpropulsive Mischbewegungen überwiegen in den interdigestiven Phasen, die propulsive Peristaltik ist überwiegend in der digestiven Phase zu finden.

Des weiteren unterscheidet man vier verschiedene Darmbewegungstypen (*Ewe et al. 1990*):

- Zottenpumpe:
Rhythmische Verkürzung der Zotten durch deren glatte Muskelfasern; die anschließende „Streckung“ optimiert den Kontakt der Schleimhaut mit dem Chymus.
- Segmentationsbewegungen:
Ringförmige Kontraktionen und Dilatationen einzelner Wandabschnitte, die zu bis 2 cm großen Einschnürungen für einige Sekunden führen.
- Pendelbewegungen:
Rhythmische Längenveränderungen einzelner Darmabschnitte, wodurch der Chymus durchmischt, aber nicht vorwärtstransportiert wird.

- Propulsive Peristaltik:

Kontraktionswellen, die dem Weitertransport des Darminhaltes mit einer Geschwindigkeit von 30-120 cm/min Richtung aboralwärts dienen.

Für die Motilität im Nüchternzustand sind periodische motorische Wellen, sog. „migrating motor complexes“ (MMC), beginnend im Magen oder proximalen Jejunum, charakteristisch. Diese durchlaufen ca. 90 minütige, dreiphasige Zyklen:

- Phase 1: Ruhe, völliges Fehlen motorischer Aktivität
- Phase 2: regelmäßige Aktivität
- Phase 3: regelmäßige Aktivität mit großen Amplituden,
konstante Häufigkeit von 10-18/min
für ca. 3-15 Minuten und einer Propulsion von ca. 5-20 cm/min

Funktion der Säuberung des Darmtraktes von nichtresorbierbaren Stoffen und Vermeidung deren Akkumulation

Postprandial werden die MMC durch unregelmäßige Kontraktionen mit großen Amplituden ersetzt. Es erfolgt dadurch eine bessere Durchmischung des Darminhaltes und ein verbesserter Kontakt des Chymus mit der Schleimhaut. Die Dauer dieser Kontraktionen nehmen in Abhängigkeit von der Nahrungszusammensetzung zu (Kohlenhydrate < Proteine < Fette) und unterliegen einer großen inter- und intraindividuellen Schwankungsbreite. Bei der durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 2-4 cm beträgt die Dünndarmtransitzeit 2-4 Stunden, wobei Nährstoffe die Propulsion eher vermindern und nicht resorbierbare Stoffe durch kräftige propulsive Kontraktionen zügig vorangetrieben werden (*Ruppin 1985*).

Ausgehend von einem neurohumoralen Mechanismus, in dem Prostaglandine maßgeblich beteiligt sind, kann ein sog. „peristaltic rush“ oder „migration action potential complex“ (MAPC) ausgelöst werden, für den eine schnelle, kräftige, ringförmige Kontraktion charakteristisch ist. Mit einer zunehmenden Geschwindigkeit (bis zu 25 cm/min) breiten sich diese Kontraktionen nach aboral aus und werden nicht selten von einer sekretorischen Diarrhö begleitet. Diese pathologische Motilität kann auch durch Laxantien, Enteritiden oder einem Zuviel an speziellen gastrointestinalen Neurohormonen, wie dem Vasoaktiven Intestinalen Polypeptid (VIP) ausgelöst werden (*Hightower 1968, Ruppin 1985*). Im Gegensatz dazu kann ein Mangel an propulsiver Aktivität zu Pseudo-Obstruktionssyndromen führen (*Vantrappen 1992*).

Durch die Kontraktionen der Darmwand wird der intraluminale Druck verändert. Als Referenzwert weist man den atmosphärischen Druck aus. Der basale intraluminale Druck beschreibt den Druck im Dünndarm, während dem keinerlei motorische Aktivitäten zu verzeichnen sind. Er ist stets höher als der atmosphärische Druck, da der Lumendurchmesser, Muskeltonus und intrathorakale und intraabdominelle Druckverhältnisse auf ihn Einfluss nehmen. Intraluminale Druckmessungen mittels Photokymographie ergaben mittlere Drücke von 8-9 cmH₂O (5,3-13,6). Ventilatorische und kardiale Pulsationen konnten Druckschwankungen von 1-3 cmH₂O erzeugen (Hightower 1968).

Durch Dünndarmkontraktionen ausgelöste Druckerhöhungen lassen sich in anhand Dauer, Amplitude und Inzidenz in zweierlei Hinsicht unterscheiden:

Tabelle 3: Vergleich der beiden Druckwellentypen bei der Dünndarmkontraktion (Hightower 1968)

Typ I	Typ III
Einfach, kurz, monophasisch	Komplex
Dauer 2-8 Sekunden	Dauer zwischen Sekunden und Minuten
Häufig, mit Grundrhythmus von 11/min	Unregelmäßig, ohne festes Muster
Basaldruck + 5 bis 80 cmH ₂ O	Basaldruck + 5 bis 30 cmH ₂ O
segmentale Kontraktionen	propulsive Kontraktionen

1.4.3.2. Pharmakologische Betrachtungen

Im Zusammenhang mit der Beurteilung der Motilität unter Durchleuchtung sind pharmakologische (Neben-)Wirkungen der Patientenmedikation zu beachten. Zum einen können Prokinetika direkt auf die Motilität einwirken und zum anderen ist eine Modifikation der Motilität auch als Nebenwirkung denkbar. In der anamnestischen Erhebung wurde die aktuelle Medikation erfragt, um die o.g. Auswirkungen berücksichtigen zu können. Aus diesem Grund sei an dieser Stelle genauer auf die pharmakologischen Möglichkeiten der Motilitätsmodifikation eingegangen.

Die Steuerung der MMC ist nur unvollständig verstanden. Es wurden synchron zu den MMC schwankende Motilin-Konzentrationen im Blut gefunden. Motilin löst –so zeigen

Versuche mit dem Motilinrezeptoragonist Erythromycin- die Komplexe aus. Im Vordergrund der Erythromycinwirkung stehen jedoch die vermehrten antralen Kontraktionen (*Pilot et al. 1988, Sarna et al. 1991, Tack 1995*). So konnten Motilinrezeptoren bei einer Subpopulation antraler Neurone gefunden werden, die in Verdacht stehen, eine Schlüsselrolle in der Koordination antraler Peristaltik und Magenleerung zu spielen. Sämtliche endogene und exogene Substanzen, die die Magenentleerung stimulieren (Cholecystokinin, Cisapride, Erythromycin) oder hemmen (Noradrenalin, Serotonin), scheinen an diesen Rezeptoren der speziellen Neurone anzusetzen (*Tack 1995*).

Daraus erwächst gerade dem Antibiotikum Erythromycin eine hervorstechende therapeutische Potenz in Bezug auf die Therapie der (diabetischen) Gastroparese (*Janssens et al. 1990, Samsom et al. 1997, Tack et al. 1992, Tack 1995*). Erythromycin verkürzt signifikant die mahlzeitbedingte MMC-Unterbrechung. Während Magenentleerung und die propulsiven Kontraktionen des proximalen Dünndarms gefördert werden, erscheint der distale Dünndarm postprandial durch die Gabe von Erythromycin eher gehemmt. Das Ansprechen der motorischen Aktivität auf das Antibiotikum scheint generell im Nüchternzustand höher zu sein als postprandial.

In einem Fall wurde von der Ausbildung eines Ileus berichtet, der sich nach Absetzen des Antibiotikums besserte (*Heyman et al. 1988*). Konträr dazu steht die Erfahrung, dass eine idiopathische intestinale Pseudoobstruktion sich gut mit Erythromycin behandeln lässt (*Minami et al. 1996*).

Andererseits ist bekannt, dass Erythromycin gastrointestinale Schmerzen, Übelkeit und Erbrechen – sowohl im Nüchternzustand, als auch postprandial- induzieren kann. Die Schmerzen stehen im Zusammenhang mit den starken antralen Kontraktionen, wohingegen für die Übelkeit kein spezielles Muster der motorischen Aktivität gefunden werden konnte (*Pilot et al. 1988, Sarna et al. 1991*).

1.5. Röntgenanatomie und –pathologie des Dünndarms

Die Länge des Dünndarms beträgt, gemessen an Enteroklysmaaufnahmen, durchschnittlich 280 cm (*Fanucci et al. 1984*). Lumendurchmesser, Faltenanzahl und –höhe nehmen von oral nach aboral ab.

Tabelle 4: Röntgenmorphologische Angaben zum Dünndarm
(*Fanucci et al. 1988, Rosenbusch et al. 1994, Ruhe 1996*)

	Durchmesser unter Distension	Kerckringfalten			
		<i>Dicke</i>	<i>Pathologische Dicke ab</i>	<i>Höhe</i>	<i>Anzahl auf 5 cm Länge</i>
Oberes Jejunum	3 - 4 cm	Bis 1,8 mm	2,5 mm	3 – 7 mm	10
Unteres Jejunum	2,5 - 3,5 cm				
Ileum	2 - 2,8 cm	Bis 1,5 mm	2 mm	1,5-3,5 mm	7

Die in der Tabelle aufgeführten Strukturen und Werte sind –bei guter bis sehr guter Abbildungsqualität- aus den Zielaufnahmen nachzuvollziehen bzw. können zur Differenzierung gegenüber pathologischen Befunden herangezogen werden.

Die Dünndarmschlingen liegen bei normalgewichtigen Menschen physiologischerweise dicht nebeneinander, so dass die distendierten Darmlumina nur durch die aneinandergrenzenden Darmwände getrennt werden. Da die Wanddicke normalerweise 1-2 mm misst, sollte der Abstand der Kontrastmittel gefüllten Lumina 2-4 mm nicht überschreiten. Eine Vergrößerung ließe an eine ödematöse oder infiltrative Wandverdickung denken, wie sie durch maligne oder entzündliche Prozesse hervorgerufen werden würde. Differentialdiagnostisch kann auch ein Aszites in Betracht gezogen werden.

1.5.1. Angeborene Anomalien

Anomalien und Fehlbildungen des Dünndarms, wie zum Beispiel Mal- oder Nonrotationen, sind selten und zumeist Zufallsbefunde. Sie können jedoch die Bildinterpretation erschweren. Entscheidend ist die Lage der Flexura duodenojejunalis und des Coecums.

Klinische Bedeutung hat allerdings das Meckelsche Divertikel, ein Rest des Dottersackes (Ductus omphaloentericus), der in der Regel 20-100 cm proximal der Bauhin-Klappe lokalisiert ist. Es ist ein echtes Divertikel an der antimesenterialen Seite mit normalem Wandaufbau, regulärer Schleimhaut und Peristaltik. Radiologisch ist es eine glatt begrenzte, unterschiedlich große Ausstülpung mit dreieckförmigem Schleimhautrelief an der Basis. Kontrastmittelaussparungen am Divertikelgrund sprechen für heterotopes Pankreasgewebe oder Magenschleimhaut. Letztere kann infolge von Ulzerationen zu Blutungen führen, so dass die Suche nach einem Meckelschen Divertikel bei okkulten Blutungen nach Ausschluss einer Blutungsquelle im oberen und unteren Gastrointestinaltrakt indiziert ist, da es doch zu den häufigsten Blutungsquellen des Dünndarms zählt (*Bücheler 1998*). Allerdings entgeht jedoch diese häufigste angeborene Anomalie des Verdauungstraktes (Prävalenz 1-4%) meist einem radiologischen Nachweis (*Gelfand 1986*).

1.5.2. Entzündliche Dünndarmerkrankungen

Im akuten Stadium kommen entzündliche Dünndarmerkrankungen selten, im chronischen Stadium hingegen häufig zur radiologischen Untersuchung. Da das Patientenkollektiv in der Regel sehr jung ist, ist gerade hier vermehrt auf Strahlenschutz zu achten bzw. die energische Suche nach Alternativmethoden gerechtfertigt. Sehr selten sind Frühveränderungen nachweisbar und differenzierbar (*Bücheler 1998, Maglinte et al. 1984c*).

Die mit Abstand größte klinische Bedeutung unter den vielfältigen Erkrankungen hat der Morbus Crohn, eine chronische, transmurale, granulomatöse Entzündung. Im Gegensatz zu vielen anderen entzündlichen Erkrankungen zeigt er charakteristische Befunde in Abhängigkeit zum klinischen Stadium. Typisch ist ein segmentaler Befall mit Bevorzugung des terminalen Ileums. Ist das terminale Ileum befallen, ergeben sich differentialdiagnostische Überlegungen, die von der ebenfalls häufigen Yersinienenteritis bis zur Colitis ulcerosa reichen. Bei der Yersinienenteritis sind kleinere, flachere Schleimhautvorwölbungen und breitere Faltentäler dominierend.

Eine lokale Hyperperistaltik kann auftreten. Die Colitis ulcerosa, die regelmäßig das Kolon befällt, führt in 10% der Fälle zu Veränderungen im Bereich des terminalen Ileums. Man spricht dann von einer „backwash-ileitis“. Die Schleimhautschwellungen erscheinen glatt und größere Ulzera fehlen. Das Darmlumen ist erweitert. Die Differentialdiagnose ist bei isolierter Betrachtung des Ileums schwierig, hier ergeben sich Hinweise durch die charakteristischen Kolonveränderungen.

Das Frühstadium des Morbus Crohn ist zunächst mit einem Darmwandödem und unregelmäßig verdickten Schleimhautfalten radiologisch unspezifisch. Hier sind eine sehr subtile Röntgentechnik und sehr große Erfahrung des Untersuchers gefragt. Eindeutiger sind die Veränderungen im frühen und chronischen Stadium, vor allem die typischen aphtoiden längsverlaufende Ulzera, die im Doppelkontrast als Vorwölbung mit zentralem Kontrastmitteldepot zur Darstellung kommen. Zunehmende Tiefenausdehnung der Ulzera lassen Schleimhautinseln deutlich hervortreten, die radiologisch das Bild eines Polypen ergeben. Da es sich jedoch um intakte Schleimhaut handelt, spricht man von „Pseudopolypen“. Unter dem charakteristischen sog. Pflastersteinrelief versteht man flächenhafte Schwellungen im Wechsel mit dazwischen liegenden Ulzerationen. Die mesenteriale Seite wird zumeist bevorzugt. Durch Hypersekretion bedingte Spasmen können Stenosen vortäuschen, die als „string-sign“ imponieren.

Im weiteren Fortschreiten kommt es mesenterialseits zu Schrumpfung. Die Gegenseite erscheint dadurch als Divertikel, daher „Pseudodivertikel“.

Das Endstadium ist durch die sog. Bodaert-Trias charakterisiert:

- Stenosen
- Pseudodivertikel
- Distanzierung der Dünndarmschlingen u.a. durch peritoneale Fettvermehrung (creeping fat)

Eine ernstzunehmende Komplikation sind die häufig auftretenden Fisteln (1/3 der Fälle) und Abszesse.

Bei 90% der Patienten werden im Krankheitsverlauf Darmteilresektionen notwendig, wobei es in der Hälfte der Fälle zu Rezidiven, die meist oral einer ileokolischen Anastomose bzw. Ileostomie lokalisiert sind, kommt (*Bakker et al. 1988, Hildell 1990, Nolan 1994*).

Häufig korreliert der Befund nicht mit der klinischen Symptomatik.

Das radiologische Bild der infektiösen Enteritiden ist bei allen Erregern ähnlich und daher unspezifisch. Häufig sind:

- Passagebeschleunigungen
- Tonus- und Motilitätsstörungen
- Reliefveränderungen im Sinne von Faltenverbreiterungen und Wulstungen

Abnorme Kontraktionen und Dilatationen führen zu einem unregelmäßigen Füllungsbild. Der schlechte Schleimhautbeschlag ist mit der Hypersekretion und der vermehrten Luft zu erklären. Ein mesenteriales Ödem vergrößert die Distanz der Dünndarmschlingen.

Der Dünndarm reagiert auf Bestrahlung, in der Regel im Rahmen der Therapie gynäkologischer Tumoren, empfindlicher als der Dickdarm. Nach einer Strahlenbelastung von über 40 Gy zeigen sich im Frühstadium der Strahlenenteritis Schleimhautverdickungen, Motilitätsstörungen und möglicherweise Ulzerationen (*Bücheler 1998*). Bei einer Dosis über 60 Gy kommt es praktisch immer zu einer Schädigung in Form einer Endarteriitis mit Gefäßokklusionen, teilweise nekrotisiert sogar die Schleimhaut. Mit einer 1-12 jährigen postexpositionellen Latenz kann es zum Spätstadium kommen, in dem sich Schleimhautatrophien, Stenosen und Schlingenabknickungen zeigen. Sehr selten kommt es zu Fisteln.

1.5.3. Obstruktionen

Obstruktionen können bei vielen Darmerkrankungen Teilsymptom sein, so zum Beispiel bei Tumoren oder nach Entzündungen. Häufigere Ursachen sind jedoch Briden und Adhäsionen nach Operationen. Teilweise werden diese jedoch nur intermittierend symptomatisch. Bei voll distendierten Darmschlingen lassen sich Einkerbungen der Darmwand durch Briden nachweisen. Adhäsionen sind dadurch gekennzeichnet, dass sich die Darmschlingen palpatorisch unter Durchleuchtung nicht trennen lassen. Stenosen zeigen zum Teil prästenotische Dilatationen.

1.5.4. Tumoren

Nur 1,5 bis 6,5 Prozent der Tumoren im Verdauungstrakt befinden sich im Dünndarm. Die Mehrzahl ist im Duodenum und distalen Ileum zu finden. Dass im übrigen Dünndarm so gut wie nie Tumoren diagnostiziert werden, ist wohl eher der technischen Durchführung zuzuschreiben (*Sellink 1971*).

Während man im Magen eher maligne Tumoren und im Kolon eher benigne Tumoren findet, kommen im Dünndarm beide Entitäten in nahezu gleicher Anzahl vor (*Sellink 1971*).

Benigne Tumoren umfassen Leiomyome, Adenome, Fibrome und Hämangiome, die meist submukös lokalisiert sind und einen polypoiden, glatten Füllungsdefekt verursachen.

Primär maligne Tumoren haben eine ungünstige Prognose, weil sie im allgemeinen erst bei fortgeschrittener Symptomatik entdeckt werden (*Van Gossum et al. 1989*).

Das Karzinoid ist relativ häufig und tritt solitär oder multipel mit unterschiedlichen Malignitätsgraden auf. Im Appendix sind meist benigne, sehr selten semimaligne Karzinoide lokalisiert. Im terminalen Ileum hingegen sind sie vorwiegend maligne mit schneller Metastasierungstendenz in die Leber. Die klinisch auffälligen Tumoren sind radiologisch nur schwer fassbar, so dass sie zumeist erst bei Vorliegen von Lebermetastasen diagnostiziert werden. Bei mesenterialem Befall hingegen kommt es zum typischen Bild mit Ausziehungen (Angulation, Kinking) und Schrumpfung.

Lymphome kommen als Teil einer Systemerkrankung, als primärer Dünndarmtumor oder als Komplikation bei Zöliakie vor. Das polymorphe Bild kann lokale Dilatationen, Ulzerationen, Perforationen und multiple Füllungsdefekte zeigen.

Karzinome sind selten, aber gehäuft bei Personen mit chronischer Darmerkrankung. Sie stellen sich meist als Füllungsdefekt mit Destruktion oder als Stenose im proximalen Jejunum oder distalen Ileum dar.

Metastasen kommen auf Grund direkter Invasion (Magen-, Kolon- oder gynäkologische Tumoren), peritonealer Aussaat (Ovarialkarzinom) oder hämatologischer Aussaat (Mamma-, Bronchialkarzinom, Melanom) vor. Hämatogene Metastasen sind meist multipel und an der antimesenterialen Seite gelegen. Im Röntgenbild sind Fixierungen, Angulation und Traktion von Schlingen, Faltenverdickung, Stenosen oder Verdrängungen infolge direkter Kompression vorstellbar.

1.5.5. Malabsorption

Radiologische Befunde bei der Malabsorption sind diffus. Die Zuordnung zu einem bestimmten Krankheitsbild ist nur begrenzt möglich. Als Anzeichen sind zu werten:

- Tonusstörung

- Pendelperistaltik
- Atonisch oder spastisch verengte Dünndarmschlingen
- Distanzierte und imprimierte Dünndarmschlingen
- Verwaschenes Faltenrelief
- Ausflockung von Kontrastmittel (v.a. im Monokontrast)
- Kontrastaussparung über längere Abschnitte

In diesem Zusammenhang ist auf die glutensensitiven Enteropathie hinzuweisen, die als ein Symptom u.a. ebenfalls die Malabsorption umfasst. Hier ist vor allem die Verlaufskontrolle wichtig, da bei längerer Krankheitsdauer mit einem gehäuftem Auftreten maligner Lymphome und Karzinome des Dünndarms gerechnet werden muss. Die Schleimhaut kann normal erscheinen, ist häufiger aber auffällig glatt. Typisch ist die verstärkte Dilatation von Jejunum und Ileum und eine Einebnung der Mukosa im Jejunum mit Rarefizierung der Kerckringschen Falten.

Durch zirkulär verlaufende Narben und Spasmen können, bevorzugt im Jejunum, haustrenartige Strukturen entstehen (Kolonisation des Jejunums). Darüber hinaus kann das Ileum den röntgenologischen Aspekt des Jejunums annehmen. Man spricht in diesem Fall von der „Jejunisierung des Ileums“ (*Bücheler 1998, Neutard et al. 1981*). Bei manchen Patienten kommt es zur Hyperperistaltik und verkürzter Passagezeit im Bereich des Jejunums und unteren Ileums.

Durch die Verwendung von Guar als Distensionsmedium kann die granuläre Schleimhautzeichnung als morphologisches Korrelat der Schleimhautzotten herangezogen werden. Ein abgeschwächtes oder gar fehlendes granuläres Schleimhautmuster wäre so als Korrelat der Zottenatrophie anzusehen (*Desaga 1987b, Desaga 1989*).

1.5.6. Motilitätsstörungen

Das Enteroklysma ist nicht nur in der Lage, morphologische Veränderungen des Darms darzustellen, sondern erlaubt auch eine Beurteilung der Motilität. Nicht selten stellt die unter Durchleuchtung beobachtete Motilitätsstörung die einzige erhobene Auffälligkeit dar.

Zur Beurteilung der Motilität ist nach Antes (*Antes 1990*) die Bariumphase am besten geeignet. Dazu ist allerdings ein standardisiertes Vorgehen notwendig, um später auch

eine Fremdbeurteilung vornehmen zu können. Nach Instillation von 300 ml Kontrastmittel bei einer konstanten Flussrate von 75 ml/min wird eine Übersichtsaufnahme angefertigt, die wie folgt interpretiert werden kann (*Antes 1993a*):

Tabelle 5: Bewertungskriterien für die Dünndarmperistaltik

Bewertung	Kriterien
Normal	Jejunum gefüllt 1/3 der Schlingen in Kontraktion
Hyperperistaltik	Ileum erreicht 2/3 der Schlingen in Kontraktion Coecum bereits erreicht: à Intestinal Hurry
Hypoperistaltik	wenige proximale Jejunumschlingen gefüllt Keine bzw. geringe Kontraktionen Darmlumen dilatiert Evtl. Reflux in Magen

Die Hypoperistaltik kann zum einen durch eine intestinale Obstruktion hervorgerufen werden, denkbar ist allerdings zum anderen auch eine medikamentöse Induzierung (Pseudoobstruktion). Die Pseudoobstruktion ist gekennzeichnet durch eine Dilatation des proximalen Jejunums mit fehlender Peristaltik. Die intestinale Obstruktion zeigt distalwärts eine zunehmende Dilatation mit abnehmenden peristaltischen Bewegungen (*Sellink et al. 1981*).

Motilitätsstörungen durch intestinale Wandprozesse, Ischämie und Gefäßprozesse zeigen in der Regel zu Beginn eine Hyperperistaltik, die im Laufe des weiteren Progresses in eine Hypoperistaltik übergeht.

2. Ziel und Fragestellung der Arbeit

2.1. Klinische Probleme

Durchführung und Ergebnis der radiologischen Dünndarmdarstellung (Enteroklysma) sind in besonderem Maße untersucherabhängig. Somit beinhalten Untersuchungsergebnisse eine subjektive Komponente, die der Methode selbst jedoch nicht anzulasten ist, sondern die technische Erfahrung und diagnostische Expertise des Untersuchers widerspiegelt. Andererseits ist das Enteroklysma die radiologische Standarduntersuchung zur Beurteilung und Erfassung endo- und extraluminaler krankhafter Prozesse und der Transportfunktion des Dünndarms. Insbesondere Ausdehnung und Verteilung morphologisch fassbarer Dünndarmerkrankungen, wie z.B. Morbus Crohn, sind klassische Indikationen zum Enteroklysma (*Halligan et al. 1998, Schober et al. 1998*).

Diese Studie will einen Beitrag leisten, die technische Abbildungsqualität und so die Ausgangsvoraussetzungen zur Beurteilung und Erfassung o.g. Prozesse von technischer Seite her zu verbessern. Obwohl es in den letzten 40 Jahren große Fortschritte in Chirurgie und radiologischer Bildgebung gab, verbesserte sich die Überlebensrate der Patienten mit Dünndarmtumoren leider nicht im gleichen Sinne. Die Zeitverzögerung zwischen Symptomen und Diagnose lag meist an radiologischen Fehlinterpretationen oder falsch-negativen Untersuchungsergebnissen. Eine verzögerte Diagnosestellung bei Patienten mit Morbus Crohn erfolgte vor allem, wenn der Morbus Crohn nur auf den Dünndarm beschränkt war (*Maglente et al. 1996*).

Phänomenologisch sind physiologische Regelkreise zwischen endoluminalem Druck (Distension) und peristaltischer Aktivität (Transportleistung) bekannt. Nach Bartram besteht die Kunst der Durchführung des Enteroklysmas darin, eine Balance zwischen Füllung (Instillation) mit aufrechterhaltener Peristaltik und Fortschreiten der Kontrastmittelsäule und der folgenden Induktion einer Hypotonie zur optimalen Distension zu finden (*Bartram 1996*).

2.2. Fragestellung der Studie

Prinzipiell ist es denkbar, anstelle der subjektiven Untersuchungssteuerung (Durchleuchtungseindruck) die Durchführung des Enteroklysmas vom endoluminalen

Druck abhängig zu machen. Zumindest ist von Interesse, ob sich ein charakteristischer Zusammenhang zwischen endoluminalem Druck, Distension und Transportfunktion des Dünndarms nachweisen lässt. Sollte sich ein derart objektivierbarer Parameter finden, könnte dies ein weiterer Schritt zur standardisierten Untersuchungssteuerung dieses radiologischen Verfahrens sein.

Oudkerk sieht die Instillationsrate von 75 ml/min als optimal an. Antes empfiehlt, das Kontrastmittel mit einer konstanten Flussrate von 75 ml/min einlaufen zu lassen, um so eine „Standardbedingung“ zur Motilitätsbeurteilung zu schaffen (Antes 1998a). Diese Methode birgt jedoch Schwierigkeiten in sich, da beispielsweise bei reger Peristaltik eine inkohärente Kontrastmittelsäule im Dünndarm entsteht, so dass unter Umständen die Qualität des späteren Doppelkontrastes leidet. Oudkerk räumt einen Spielraum von $\pm 12,5$ ml/min zur „Korrektur“ der Motilität ein (Oudkerk et al. 1988). Fuchs und Jacobi (Fuchs et al., 1989) empfehlen eine direkte Modulation der Instillationsrate bei starker bzw. geringer Darmtätigkeit.

In Vorstudien der Klinik für Strahlendiagnostik der Philipps-Universität Marburg (Leppek et al. 1998, Ruhe 1996) ergaben sich mittlere Instillationsgeschwindigkeiten:

Tabelle 6: Mittlere Instillationsraten in den dieser Studie vorausgegangenen Untersuchungen

	Ruhe 1995	Sauerwald 1997
Kontrastmittel	96 \pm 11 ml/min (80 – 120 ml/min)	52,7 \pm 21,59 ml/min (11,0 - 116,3 ml/min)
Distensionsmedium	102 \pm 11 ml/min (80 – 120 ml/min)	119,4 \pm 32,1 ml/min (50,6 - 192,1 ml/min)

Durch Erhöhung der Flussrate kommt es zur reflektorischen Peristaltikminderung. Bei geringer Peristaltik stockt die Kontrastmittelsäule in den oberen Darmabschnitten und die distalen Darmschlingen können nur unter deutlichen Qualitätseinbußen dargestellt werden. Wird umgekehrt die Einflussrate bei geringer Motilität vermindert, kann der Darm das Kontrastmittel regelrecht weitertransportieren.

Die vorliegende Studie hat sich eingehend damit beschäftigt, ob und wenn ja, in welchem Ausmaß die Flussratenmodulation Einfluss nehmen auf die Abbildungsgüte der Zielaufnahmen.

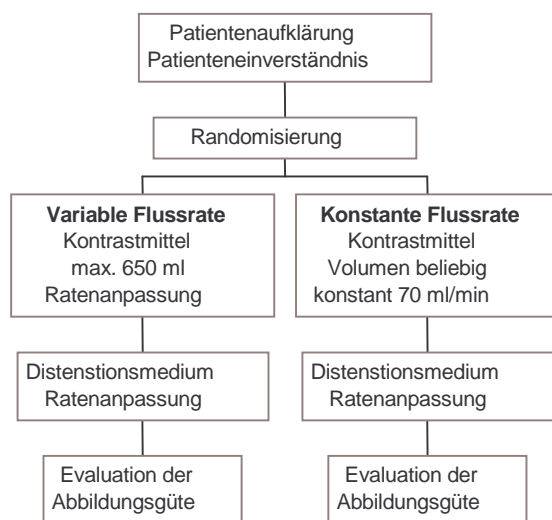
3. Material und Methode

3.1. Patientenkollektiv

3.1.1. Umfang und Zusammensetzung des Patientenkollektives

Das Studienprotokoll wurde der Ethikkommission der Philipps-Universität Marburg vorgelegt und von ihr genehmigt. Gemäß dem im Studienprotokoll festgelegten Verfahren wurden die Patienten randomisiert und aufgeklärt.

Das Patientenkollektiv rekrutierte sich ausschließlich aus Patienten, die sich in stationärer oder ambulanter Behandlung der Universitätsklinik Marburg befanden und zum Enteroklysma der Klinik für Strahlendiagnostik zugewiesen wurden. Stationäre Patienten wurden mindestens 24 Stunden vor der Untersuchung über diese aufgeklärt und das Einverständnis zur Teilnahme eingeholt. Ambulante Patienten erhielten bei Terminabsprache Informationen über die Studie, Aufklärungsbogen und Anamnesebogen (siehe Anhang). Direkt vor der Durchführung wurde nochmals über das Untersuchungsverfahren und die Studie informiert und bei ambulanten Patienten das Einverständnis eingeholt.



Die Studie betrachtete die intraluminalen Druckparameter in Abhängigkeit von der jeweiligen Flussrate während der Kontrastmittelinstitution. Dazu wurden die Patienten in zwei Gruppen randomisiert, wobei folgende Modifikationen der Untersuchung vorgenommen wurden:

Tabelle 7: Unterschiede der beiden Untersuchungsprotokolle

	Gruppe 1	Gruppe 2
Kontrastmittel	1:3 verdünntes Bariumsulfat	180 ml Bariumsulfat in 320 ml Distensionsmedium (s.u.)
KM-Instillation	Konstanter Flow bei 70 ml/min	Durchleuchtungsgesteuerte Flussratenanpassung
Distension	Methylzellulose	Guaran

Vom Institut für Biometrie und medizinischer Statistik an der Philipps-Universität Marburg wurde per Zufallsgenerator die Liste der Untersuchungsreihenfolge erstellt, die der Studiengruppe nicht zugänglich war. In 60 nummerierten Briefumschlägen wurde von einer neutralen Person die Reihenfolge niedergelegt, wobei am Vorabend der Untersuchung jeweils von einem Mitglied der Studiengruppe ein Umschlag gezogen und ggf. das Distensionsmedium angesetzt wurde.

Bei balancierter Randomisierung wurden insgesamt 60 Patienten im Zeitraum Juli 1999 bis Juni 2000 untersucht, wobei 35 Patienten Gruppe 1 und 25 Patienten der Gruppe 2 zugeordnet wurden. Mit Erreichen der Patientenzahl wurde die Studie geschlossen.

3.1.2. Ein- und Ausschlusskriterien

Für die in die Studie aufzunehmenden Patienten wurden folgende Ein- und Ausschlusskriterien definiert:

Einschlusskriterien:

- V.a. Dünndarmerkrankung
- Klärung intestinaler Beschwerden einschl. funktioneller Dysfunktionen

Ausschlusskriterien:

- Schwangerschaft
- V.a. Perforation
- Manifester Ileus

- Vormedikation mit Prokinetika (z.B. Erythromycin)
- Vormedikation mit Peristaltikhemmern (Sedativa, Psychopharmaka, Spasmolytika, Morphinderivaten)
- Patienten, die die Aufnahme in die Studie ablehnen

3.2. Untersuchungstechnik

3.2.1. Patientenvorbereitung

Die Patientenvorbereitung verläuft gemäß des etablierten und im Klinikum routinemäßig eingesetzten Schemas (siehe Anhang) und dienen der Verbesserung der Untersuchungsbedingungen. Abführende und darmreinigende Maßnahmen sollen Artefakte durch Darminhalt vermeiden. Die Gabe des Mukolytikums Acetylcystein verbessert die Haftung des dünnen Kontrastmittelfilms an der Schleimhautoberfläche.

3.2.2. Technik mit konstanter Instillationsrate

3.2.2.1. Zubereitung des Kontrastmittels

Verwendet wird eine Bariumsulfatlösung (Micropaque® flüssig, Fa. Guerbet) in verdünnter Form. Das spezifische Gewicht sollte zwischen 1,2 und 1,3 betragen. Dazu wird ein Teil Barium mit zwei Teilen Leitungswasser verdünnt, d.h. 300 ml Micropaque® flüssig in 600 ml Wasser. Die Temperatur sollte etwa 18°C betragen (*Antes et al. 1981, Antes 1993a*).

3.2.2.2. Zubereitung des Distensionsmediums

Eine 0,5%ige Methylzellulose-Lösung hat sich für die Doppelkontrastdarstellung bewährt. Dafür werden 10g Methylzellulosepulver in 200 ml heißem (60°C) Wasser angerührt. Anschließend wird diese Stammlösung wiederum mit 1800 ml kaltem Leitungswasser verdünnt. Auch hier sollte die Temperatur ca. 18°C betragen (*Antes et al. 1981, Antes 1993a*).

Im Klinikum Marburg wurde für diese Studie die Stammlösung in der Kliniksapotheke zubereitet und in Flaschen bereitgestellt.

3.2.2.3. Instillation von Kontrastmittel und Distensionsmedium

Das Kontrastmittel wird mit einer konstanten Einlaufgeschwindigkeit von 70 ml/min

über die Kontrastmittelpumpe (KMP 2000, Fa. Guerbet GmbH, Sulzbach i.Ts.) instilliert. Die zu applizierende Menge richtet sich nach patientenindividuellen Faktoren. Mit Erreichen der Bauhin'schen Klappe oder nach Applikation der bereitgestellten 900 ml Kontrastmittel wird die Instillation des Distensionsmedium begonnen. In der Regel wird die Flowrate auf ca. 120 ml/min erhöht. Die Menge an Methylzellulose ist abhängig von der Länge des Darms und kann bis zu 2000 ml betragen. (*Antes et al. 1981*).

3.2.3. Technik mit variabler Instillationsrate

3.2.3.1. Zubereitung des Kontrastmittels

Die Kontrastlösung wird aus der Bariumsulfatlösung Micropaque® durch Zusatz der Guaranfraktion HP-7000 hergestellt:

1,5 g HP-7000 werden mit 10 ml Glycerin angerührt und in 600 ml Micropaque® gegeben. Nach vier Stunden Quellzeit ist die Lösung gebrauchsfertig und kann bis zu zwei Tagen bei Zimmertemperatur gelagert werden. Vor der Untersuchung werden 180 ml der Lösung mit 320 ml Distensionsmedium (siehe 3.2.3.2.) verrührt (*Desaga 1987b, Desaga 1990, Leppek et al. 1998*).

3.2.3.2. Zubereitung des Distensionsmediums

Das nicht-contrastgebende Distensionsmedium wird als 0,5%ige Lösung einer Guaranfraktion (HP 7000) hergestellt. 15 g Guaranpulver HP-7000 werden zuerst mit 20 ml Glycerin (nach DAB) versetzt, so dass ein halbflüssiger Brei entsteht. Dieser Ansatz wird in 3000 ml Leitungswasser eingerührt. Nach einer Quellzeit von 4 Stunden ist die Lösung gebrauchsfertig und bei Aufbewahrung im Kühlschrank 24 Stunden lang stabil. Vor Gebrauch ist das Medium auf ca. 37°C im Wasserbad (Wasserinkubator Typ 3044, Fa. Köttermann, Uelzen) zu erwärmen (*Desaga 1987b, Desaga 1990, Leppek et al. 1998*).

3.2.3.3. Instillation von Kontrastmittel und Distensionsmedium

Die Instillation des Kontrastmittels wird mit einer Förderrate von 70 ml/min begonnen. Entsprechend der Peristaltik und dem Distensionsgrad der Dünndarmschlingen wird die Rate angepasst: Eine beschleunigte Transitzeit mit lebhafter Peristaltik sollte durch eine erhöhte Einlaufgeschwindigkeit abgefangen werden. Eine stärkere Dehnung der Dünndarmschlingen führt reflektorisch zu einer Peristaltikminderung. Bei eher geringer

Motilität wird daher eine niedrigere Förderrate gewählt, um die Peristaltik nicht noch zusätzlich zu hemmen (*Geiter et al. 1977*).

3.2.4. Untersuchung

3.2.4.1. Versuchsaufbau

Zur Instillation des Kontrast- und Distensionsmediums wurde eine Kontrastmittelpumpe (KMP 2000, Fa. Guerbet GmbH, Sulzbach i.Ts.) verwendet. Es handelt sich um eine drehzahlgeregelte Rollenschlauchpumpe, die es erlaubt eine Förderrate zwischen 0 und 600 ml/min zu wählen.

Zwei Kontrastmittelbeutel (Guerbet Enema-Bags, Art.-Nr. 857) wurden über ein Y-Stück (Art.-Nr. 836, Fa. Guerbet) verbunden und über ein Schlauchsystem (Art.-Nr. 837, Fa. Guerbet) durch die Pumpe zum Patienten geführt.

Zur Sondierung wurde eine 150 cm lange, doppelumige Ballonsonde aus elastischem Polyurethan (Art.-Nr. 817, Fa. Guerbet) mit einem Aussendurchmesser von 8 CH (\triangle 2,8 mm) verwendet.

Vor der Untersuchung wurde der Ballon entfernt, so dass der Kanal der normalerweise der Luftinsufflation diente, eine freie Öffnung zum Darmlumen besaß. Über einen Drei-Wege-Hahn (Discofix®-3, B.Braun Melsungen AG) und eine Heidelberger Verlängerung (B.Braun Melsungen AG) und einem zweiten Drei-Wege-Hahn war die Sonde an einen Druckaufnehmer (Schaevitz Modell P 720, Range 0-20 bar VG, Lucas Schaevitz Ltd., Berkshire) angeschlossen. Der Druckaufnehmer befand sich auf gleicher Höhe wie der Untersuchungstisch und somit auf dem Niveau des liegenden Patienten. Zur optimalen Druckfortleitung wurde das gesamte System zwischen Lumenöffnung des Messkanals und Druckaufnehmer mit Wasser gefüllt. Die aufgenommenen Signale des Druckaufnehmers wurden über eine Anzeige (Schaevitz Auswerteelektronik DD 80/20, TK 035, Lucas Schaevitz Ltd., Berkshire) an einen Zwei-Koordinatenschreiber weitergegeben, der so kontinuierlich den vom Druckaufnehmer ermittelten endoluminalen Druck dokumentierte.

Der Instillationskanal konnte über einen Luer-Lock-Anschluss an das Schlauchsystem der Pumpe angeschlossen werden. Ein bis zur Sondenspitze reichender teflonbeschichteter Mandrin verlieh der Sonde eine zur besseren Platzierung notwendige Rigidität. Er wurde nach der Platzierung entfernt. Die Sondenspitze war mit einer röntgendichten Olive versehen, die das Erkennen der Sonde bei der

Sondierung unter Durchleuchtung erleichterte. Vier Öffnungen ermöglichten den Austritt der instillierten Medien.

3.2.4.2. Sondenplatzierung

Zunächst wurde die Rachenschleimhaut mit Lidocain-Spray (Xylocain®-Spray, Astra Chemicals GmbH, Wedel) und das zu sondierende Nasenloch mit Lidocain-Gel (Xylocain®-Gel, Astra Chemicals GmbH, Wedel) anästhesiert. Zur orientierenden Darstellung des Pylorus bekam der Patient einen Schluck Bariumsulfat per os. Die an der Sondenspitze mit Lidocain benetzte Sonde wurde dann dem auf dem Untersuchungstisch sitzenden Patienten in der Regel über die Nase eingeführt und bis in den Magen vorgeschoben.

Nachdem der Patient in Rückenlage gebracht worden war, erfolgte die weitere Sondenplatzierung unter intermittierender Durchleuchtung mittels Manipulation am Führungsdraht bzw. Lagewechsels des liegenden Patienten.

Nach Positionierung möglichst hinter dem Treitz'schen Band wurde der Führungsdraht entfernt. Die Sonde wurde mit Pflaster an Nase und Wange des Patienten fixiert, um eine Dislokation der Sonde im Laufe der Untersuchung zu vermeiden.

Es folgte der Anschluss der Sonde an das Schlauchsystem bzw. die Pumpe und an die Zuleitung zum Druckwandler. Der Messkanal wurde vom Drei-Wege-Hahn aus mit Wasser gefüllt und ein Nullabgleich vorgenommen, in dem zunächst zur Umgebung hin geöffnet wurde. Anschließend wurde der Initialdruck ermittelt. Nachdem die Druckkurve ein Plateau erreicht hatte, begann die Instillation des Kontrastmittels – in den meisten Fällen initial mit einer Rate von 70 ml/min.

3.2.4.3. Dokumentation

Die Untersuchungen wurden an einem kippbaren Durchleuchtungsgerät mit Untertischröhre (Diagnost 73P, Philipps) vorgenommen.

Nach der Kontrastmittelinstillation und vor der Distensionsmediumgabe wurde eine Übersichtsaufnahme im Format 35x35 cm in Rückenlage vorgenommen. Besonderes Interesse galt nach der Kontrastmittelgabe dem terminalen Ileum. Ziel war es, mittels Zielaufnahme den Übertritt des ersten Kontrastmittelbolus in das Zökum zu dokumentieren. Im Laufe der Untersuchung wurden weitere Übersichts- und Zielaufnahmen (24x30 cm, Vollformat oder viergeteilt) sowohl in Mono- als auch Doppelkontrast angefertigt. Es sollte eine Dokumentation aller vier Quadranten des

Bauchraumes anhand von Zielaufnahmen am Ende der Untersuchung zur Verfügung stehen. Schlingenkonvolute und Überlagerungen konnten zum Teil mittels Kompression aufgelöst werden. Zum Abschluss der Untersuchung wurde jeweils eine Übersichtsaufnahme sowohl in Rücken- als auch in Bauchlage vorgenommen.

3.3. Datenerfassung und –auswertung

3.3.1. Allgemeine und anamnestische Patientendaten

In die Studie aufgenommen wurden zunächst alle ambulanten und stationäre Patienten, die zum Enteroklysma nach Sellink an die radiologische Abteilung des Klinikum Marburgs überwiesen wurden.

Ambulante Patienten erhielten bei der Terminvereinbarung in der Abteilung für radiologische Diagnostik mit der Anweisung zur Vorbereitung auf die Untersuchung und den dazugehörigen Medikamenten bereits die schriftliche Aufklärung zur vorliegenden Studie und den Anamnesebogen (siehe Anhang).

Stationäre Patienten wurden am Vortag der Untersuchung auf Station aufgesucht und über die Studie informiert. Der Anamnesebogen, sowie die Zustimmung zur Teilnahme verblieb bis zur Untersuchung beim Patienten. Auf eventuelle Fragen konnte so schon im Vorfeld eingegangen werden.

Vor der Untersuchung erfolgte nochmals ein Gespräch mit dem die Untersuchung durchführenden Arzt.

3.3.1.1. Antibiotika

Antibiotika können Einfluss auf die Darmmotilität nehmen. Die Erfassung der anamnestischen Daten beinhaltete im Rahmen dieser Studie auch die Frage nach einer der Untersuchung vorangegangenen Antibiotikatherapie.

3.3.1.2. Vorerkrankungen

Anamnestisch wurde anhand des Fragebogens nach folgendem Spektrum der Vorerkrankungen gefragt, da diese unter Umständen auf die Motilität Einfluss haben könnten:

- Entzündungen des Darms
- Blutungen des Darms
- Pankreatitis

- Hyperthyreose
- Gallenleiden
- Ikterus (als Symptom von Lebererkrankungen)
- Diabetes mellitus Typ I und II
- Andere Stoffwechselerkrankungen (i.S. von Gicht, Prophyrie usw.)
- Nervenerkrankungen
- Lebensmittelallergie
- Laktoseintoleranz
- Sonstige Allergien

3.3.1.3. Operationen

Ein besonderes Augenmerk lag in der anamnestischen Erhebung auf den Operationen im Bauchraum. Sie können einen anamnestischen Hinweis auf eventuell vorliegende Adhärenzen und Briden bieten. Die Auswertung wurde auf die letzten drei stattgehabten Operationen beschränkt bzw. auf die Operationen im Bauchraum.

3.3.1.4. Dauermedikation

Um eine Unterscheidung zwischen Bedarfs- und Dauermedikation treffen zu können, wurde im Anamnesebogen in zweifacher Hinsicht nach der aktuellen Medikation gefragt. So sollten auch Bedarfsmedikamente erfasst werden, die vom betreffenden Patienten nicht mehr als solche wahrgenommen werden. Außerdem besteht so die Möglichkeit, Medikamente mit eventuellen gastrointestinalen Nebenwirkungen zu erfassen.

3.3.1.5. Bedarfsmedikation

Als Bedarfmedikation wurden

- Schmerzmittel,
- Abführmittel,
- Beruhigungsmittel und
- krampflösende Medikamente, wie zum Beispiel Buscopan,

ausgewiesen.

Die Auswertung der erhobenen Daten zog nur die auf die Peristaltik wirkende Medikamente in Betracht, ohne die Unterscheidung zwischen Bedarfs- und Dauermedikation zu treffen.

3.4. Dokumentation der Untersuchung

3.4.1. Protokollierte Untersuchungsdaten

Anhand des im Anhang aufgeführten Untersuchungsprotokolls wurden aufgenommen:

- Datum und Uhrzeit
- Untersuchender Arzt
- Verantwortliche/r Medizinisch-technischer radiologischer Assistent/in
- Patientendaten (Name, Vorname, Geburtsdatum, PID)
- Fragestellung, die zur Untersuchung führte
- Kontrast- und Distensionsmitteleigenschaften (Viskosität und Temperatur)
- Daten zur Platzierung der Sonde
- Intubation nasal/oral
- Sondenlage
- zeitlicher Aufwand
- Durchleuchtungszeit und –flächendosis
- Kontrast- und Distensionsmittelkinetik während der Untersuchung
- Mittlere Instillationsrate
- Instillierte Menge
- Dauer der Instillationsphase
- Am Ende der KM-Phase erreichter Darmabschnitt
- Dünndarmmotilität und Tonus der Darmwand
- Die bis zum First Pass benötigte Zeit in Minuten
- Subjektive Beurteilung der Peristaltik durch den Untersucher anhand einer Einschätzung zwischen gering, normal und stark zu Beginn der jeweiligen Instillation und bei Erreichen der Bauhin'schen Klappe
- Gesamtzeitbedarf mit Gesamtuntersuchungszeit, -durchleuchtungszeit inkl. Flächendosis
- Vorgenommene Dokumentation (Anzahl der Ziel- und Übersichtsaufnahmen)
- Eventuelle Komplikationen und Besonderheiten während der Untersuchung

3.4.2. Druckmessung

Der mittels eines Druckaufnehmer gemessene intraluminale Druck wurde mittels eines Zwei-Koordinatenschreibers aufgezeichnet. Die x-Achse entsprach der Zeit, die y-

Achse gab den Druckverlauf während der Untersuchung wider.

Bei jeder Untersuchung wurde nach dem Nullabgleich zunächst eine Eichung auf 10 cmH₂O und 20 cmH₂O erstellt. Nach der Sondenplatzierung wurde der Initialdruck ermittelt bevor die Kontrastmittelinstitution begann. Die Aufzeichnung des intraluminalen Druckes erfolgte dann kontinuierlich bis zum Entfernen der Sonde am Untersuchungsende. Damit ging die Dokumentation über das Ende der Instillationsphase hinaus.

Direkt an der Kurve wurden wichtige „Untersuchungsereignisse“ vermerkt:

- Beginn der Kontrastmittel-/ Distensionsmediuminstillation
- Ende der Instillation
- Eingestellte Flowraten und deren Veränderungen
- Erstes Passieren des Kontrastmittels durch die Bauhinsche Klappe (first pass)
- Zeitpunkt und Format der angefertigten Röntgenaufnahmen
- Auftreten von Ereignissen, die vom Patienten angegeben wurden (z.B. Nausea, Schmerzen) oder radiologisch beobachtet werden konnten (z.B. Reflux)

Anhand der Druckkurve konnten also auch im Anschluß an die Untersuchung zeitliche Zuordnungen getroffen werden.

Die Druckkurve ermöglichte so die Ermittlung folgender Daten:

- Ruhedruck
- Beginn der Instillation, dem Zeitpunkt „0“
- Zeitpunkt und herrschender Druck am Ende der Instillationsphasen
- Zeitpunkt und herrschender Druck am „First Pass“
- Maximaler Druck mit Zeitpunkt und Flowrate
- Zeitpunkt und herrschender Druck am Ende der Untersuchung
- Dauer der Instillationsphasen
- Dauer der Dünndarmtransitzeit (Zeitpunkt „0“ bis „First Pass“)

3.4.3. Auswertung der Röntgenfilme

Die angefertigten Röntgenbilder wurden von dem untersuchenden Arzt befundet. Eine gesonderte Auswertung bezüglich der Abbildungsqualität wurde danach von zwei

Fachärzten vorgenommen. Um Reiheneffekte durch die Anzahl der schon betrachteten Bilder bezüglich der Auswertung auszuschließen, wurden den beiden Oberärzten die Bilder in unterschiedlicher Reihenfolge präsentiert. Es wurden weder Diagnose, angewandte Technik noch patientenindividuelle Daten dem Auswertenden mitgeteilt.

Die Abbildungsqualität von Jejunum, Ileum und terminalen Ileum wurde in fünf Qualitätsstufen eingeordnet:

- 0** aufgrund **Resektion** nicht beurteilbar
- 1** **sehr gut**
optimale und detailreiche Doppelkontrastdarstellung
- 2** **befriedigend**
im Gegensatz zur eingeschränkten Darstellungsqualität, wenn auch nicht optimale, so doch hinsichtlich der Übersichtlichkeit und Detailerkennbarkeit zufriedenstellende Aufnahme im Doppelkontrast
- 3** **eingeschränkt**
streckenweise fehlender Doppelkontrast bzw. nur in Prallfüllung vorliegende Darstellung

oder

aufgrund zu starker Überlagerung von Schlingenkonvoluten keine sichere Beurteilung möglich
- 4** **nicht beurteilbar**
kein Doppelkontrast

Die vorliegende Bewertung lag bereits in denen dieser Studie vorangegangenen Arbeiten zum Thema Enteroklysmen zugrunde (*Leppek et al. 1998, Ruhe 1996*), so dass die hier erhobenen Daten als Vergleichswerte dienen können.

4. Ergebnisse

4.1. Zusammensetzung des Patientenkollektives

Das Patientenkollektiv setzte sich aus Patienten zusammen, die der Abteilung für Strahlendiagnostik des Universitätsklinikums Marburg zugewiesen wurden. Insgesamt wurden 60 Patienten im Rahmen der Studie untersucht, wovon 52 Patienten die Einschlusskriterien erfüllten. Davon wurden 30 Patienten mit konstanter und 22 Patienten mit variabler Instillationsrate untersucht. Die Altersspanne umfasste 25 bis 87 Jahre. Eine genauere Übersicht bietet folgende Tabelle.

Tabelle 8: Alterstruktur des Patientenkollektives in Jahren

Altersstruktur	Konstante Rate			Variable Rate			Gesamt
	männlich	weiblich	gesamt	männlich	weiblich	gesamt	
gültige Fälle	16	14	30	11	11	22	52
Mittelwert	51,35	48,06	49,81	54,63	49,73	52,18	50,82
Std.Abweichung	17,13	15,27	16,10	18,64	16,63	17,42	16,54
Minimum	25,05	25,74	25,05	25,56	27,28	25,56	25,05
Maximum	79,06	75,11	79,06	87,87	77,14	87,87	87,87
25. Perzentil	38,97	33,89	36,95	34,71	36,84	36,61	36,91
Median	48,06	48,42	48,42	58,39	46,92	51,16	49,78
75. Perzentil	67,84	60,89	60,89	65,68	68,73	66,44	64,67

4.1.1. Verdachtsdiagnosen bzw. Fragestellung bei Zuweisung

Eine Aufstellung der Verdachtsdiagnosen bzw. der Fragestellung zeigt, dass der Schwerpunkt der Untersuchung hauptsächlich auf der Suche nach Blutungsquellen (12 von 52) und der Verlaufskontrolle eines bereits bestehenden Morbus Crohn (10 von 52) liegt.

Tabelle 9: Verteilung der Zuweisungsgründe des Patientenkollektives nach randomisierter Technik und Geschlecht

Untersuchungsgrund	Konstante Rate		Variable Rate		Gesamt
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	
M. Crohn	5	1	1	3	10
V.a. M. Crohn	1	2	0	2	5
Blutungsquelle	3	4	4	1	12
Subileus	2	0	2	1	5
Bride	1	1	1	0	3
Meckeldivertikel	1	2	0	0	3
Diarrhö	1	0	2	0	3
Schmerzen	1	1	0	1	3
Stenose	0	2	0	0	2
Chron.-entz. Darmerkrankung	1	1	0	1	3
Ileus	0	0	0	1	1
Fistel	0	0	1	0	1
Colon irritabile	0	0	0	1	1
Gesamt	16	14	11	11	52

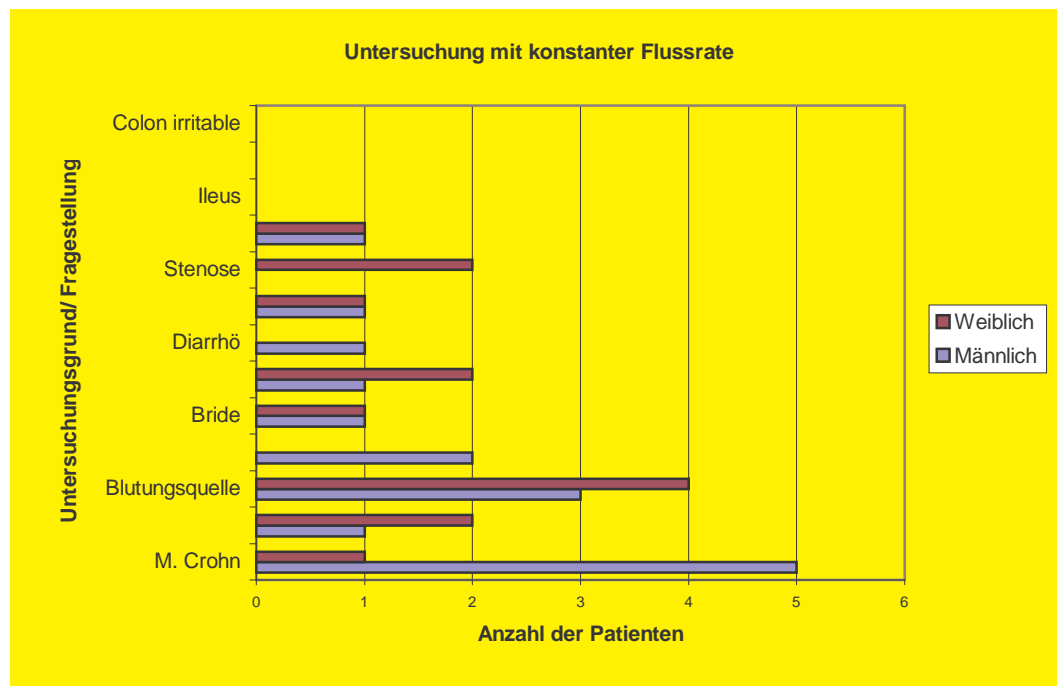


Abbildung 1: Graphische Darstellung der Geschlechterverteilung in Bezug auf den Untersuchungsgrund/Fragestellung bei der Untersuchung mit konstanter Flussrate

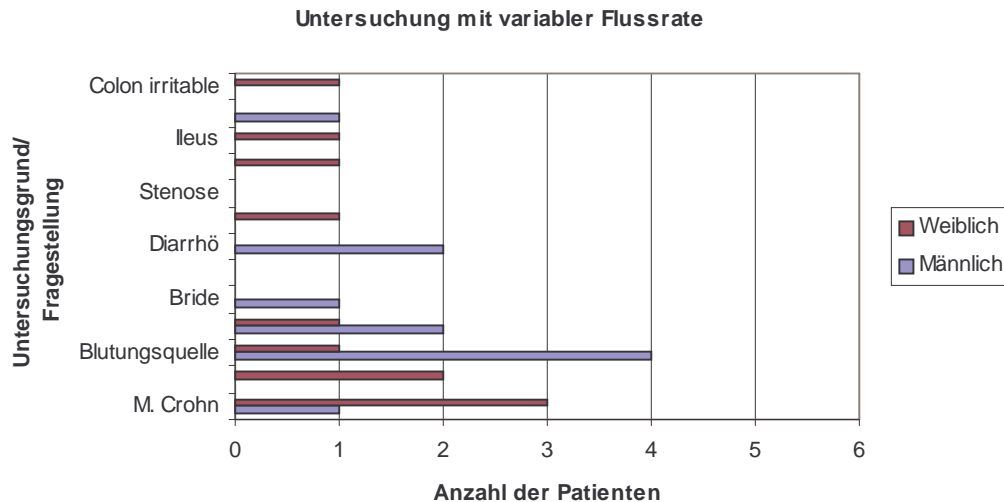


Abbildung 2: Graphische Darstellung der Geschlechterverteilung in Bezug auf den Untersuchungsgrund/Fragestellung bei der Untersuchung mit variabler Flussrate

4.1.2. Untersuchungsergebnisse

Insgesamt wurden 60 Patienten im Alter von 25 - 87 Jahren untersucht, 28 Frauen und 32 Männer. 52 Patienten (27 Männer und 25 Frauen) konnten schließlich in die Studie aufgenommen werden.

Von den 25 Frauen wurden 11 Patientinnen zu der Gruppe mit variabler Flussrate randomisiert, 14 Frauen wurden nach der Technik mit konstanter Instillationsrate untersucht.

Bei einem Patienten konnten anhand der Ziel- und Übersichtsaufnahmen, die das Enteroklysma mit konstanter Instillationsrate lieferte, keine verlässlichen Aussagen getroffen werden, so dass dieser Patient einen Monat später mit variabler Instillationsrate nachuntersucht wurde. Die erste und randomisierte Untersuchung wurde in die Studie aufgenommen.

Sowohl bei einer Frau als auch bei einem Mann musste die Untersuchung vorzeitig abgebrochen werden. Die Patientin (untersucht nach Protokoll „konstante Flussrate“) erbrach schwallartig auf Grund eines gastralen Refluxes. Bei dem männlichen Patienten fiel nach Sondierung und Untersuchungsbeginn nach der Technik mit konstanter Flussrate ein Pneumoperitoneum auf. Mit Verdacht auf Perforation nach der vorausgegangenen Koloskopie wurde die Untersuchung sofort abgebrochen.

4.1.2.1. Antibiotika

15 der 52 Patienten hatten in den letzten drei Monaten vor der Dünndarmuntersuchung Antibiotika eingenommen. 6 Patienten war der Name des verwendeten Antibiotikums nicht erinnerlich. 3 Patienten erhielten Metronidazol (Clont®). Zwei Patienten wurden mit variabler, ein Patient mit konstanter Instillationsrate untersucht. Ein Patient erhielt eine Single-Therapie und wurde mit konstanter Flussrate untersucht, ein Patient erhielt es in Kombination mit dem Gyrasehemmer Ciprofloxacin (Ciprobay®) und wurde mit variabler Instillationsrate untersucht. Eine Patientin wurde mit der Dreierkombination Metronidazol, Imipenem/Cilastin und Vancomycin therapiert. Sie wurde zu der Studiengruppe mit variabler Instillationsrate randomisiert.

4.1.2.2. Vorerkrankungen

Lediglich 9 Patienten haben überhaupt keine Vorerkrankungen im Sinne der im Fragebogen abgefragten und aufgelisteten angegeben. Vier männliche Patienten wurden mit konstanter Flussrate untersucht. Fünf Männer und eine Frau wurden mit variabler Instillationsrate untersucht. Auf eine weitere Auswertung und Nutzung der Daten zu den Vorerkrankungen wurde aufgrund der Vielfältigkeit und den damit verbundenen kleinen Subgruppen verzichtet.

4.1.2.3. Operationen

Tabelle 10: Operationsanamnese gegliedert nach Geschlecht und Befund (Operation+ =OP in der Anamnese, - = keine OP)

	Pathologischer Befund						Ohne pathol. Befund						Nicht auswertbar/ Abbruch					
	Konstante Rate			Variable Rate			Konstante Rate			Variable Rate			Konstante Rate			Variable Rate		
Operationen	+	-	Σ	+	-	Σ	+	-	Σ	+	-	Σ	+	-	Σ	+	-	Σ
Frauen	5	1	6	3	1	4	8	0	8	5	1	6	0	0	0	1	0	1
Männer	6	2	8	3	3	6	3	2	5	2	2	4	1	2	3	1	0	1
Gesamt	11	3	14	6	4	10	11	2	13	7	3	10	1	2	3	2	0	2

7 Patienten ohne Operation des Bauchraumes sind mit konstanter und 7 Patienten ohne Operation mit variabler Instillationsrate untersucht worden. Mit 14 von 52 Patienten (26,92%) ist der Anteil der Nicht-Operierten recht gering.

Dabei ist nun zu unterscheiden, ob die Operation primär Grund der nun

durchgeführten Untersuchung ist, i.S. der Verdachtsdiagnose postoperativer Verwachsungen, oder ob eine Operation sekundär aufgrund einer primären Dünndarmerkrankung (z.B. M. Crohn) durchgeführt wurde.

Betrachtet man unter diesem Gesichtspunkt das Patientenkollektiv, so ergeben sich folgende Ergebnisse:

Tabelle 11: Gewichtung der Operationen bei Voroperierten

	Variable Rate		Konstante Rate	
	<i>primärer Grund</i>	<i>sekundärer Grund</i>	<i>primärer Grund</i>	<i>sekundärer Grund</i>
<i>OP ist ... für die Untersuchung</i>				
Frauen	2	7	4	9
Männer	3	3	4	6
Gesamt	5	10	8	15

Die eindeutige Gewichtung der primären Darmerkrankungen in Bezug auf die Durchführung des Enteroklysmas lässt schließen, dass diese Untersuchungsmethode häufig im Zusammenhang mit Verlaufskontrollen steht.

4.1.2.4. Medikation

Bezüglich der Medikation wurden Arzneimittel berücksichtigt, die sich auf die Peristaltik auswirken können. Eine Unterscheidung zwischen Bedarfs- und Dauermedikation wurde nicht getroffen. In der folgenden Tabelle wurden nur Medikamente aus den Sparten Schmerzmittel, Psychopharmaka, Prokinetika und Beruhigungsmedikamente beachtet, die sich auf die Peristaltik auswirken. Aufgrund der zahllosen Kombinationsmöglichkeiten wurde auf eine detaillierte Aufstellung der Medikamentenkombinationen verzichtet und lediglich die Anzahl der kombinierten Medikamente aufgeführt.

Tabelle 12: Medikation und Anzahl der kombinierten Medikamente

Technik	Geschlecht	Keine Medikamente	Anzahl der kombinierten Medikamente			
			1	2	3	4
Variable Rate	<i>Frauen</i>	8	2	1	0	0
	<i>Männer</i>	9	1	1	0	0
Konstante Rate	<i>Frauen</i>	8	2	3	1	0
	<i>Männer</i>	13	1	1	0	1
Summe	52	38	6	6	1	1

Bei der Einnahme eines Medikamentes wurde zumeist ein Schmerzmittel eingenommen (3 von 6 Patienten). Wurden zwei Medikamente regelmäßig eingenommen, so war es in 3 von 6 Fällen eine Kombination aus einem Psychopharmakon und einem weiteren Medikament aus den verbleibenden drei o.g. Gruppen.

4.1.2.5. Häufigkeitsverteilung und Subgruppeneinteilung anhand der erhobenen Daten

Nachdem die Studie geschlossen wurde, erfolgte eine Aufstellung der radiologischen Befunde, die die Aufstellung von sieben Leitdiagnosen erlaubte. Das Patientenkollektiv konnte aufgrund dieser Hauptdiagnosen in sieben Gruppen unterteilt werden, die krankheitsspezifische Gemeinsamkeiten besser herausstellen sollen.

Eine Stratifizierung des gesamten Patientenkollektives anhand des radiologischen Befundes wurde wie nachfolgend durchgeführt.

Folgende Diagnosen wurden als Leitkategorien aufgestellt:

(chronisch-)entzündliche

Darmerkrankungen :	M.Crohn
	Colitis ulcerosa
Irritables Darmsyndrom:	Hyperperistaltik
	Intestinal Hurry

Stenosen

Verwachsungen:	Briden
	Adhärenzen

Organische Erkrankungen:	alle oben nicht genannten
	morphologischen Veränderungen

Keine Aussage möglich:	Abbruch der Untersuchung
	Schlechte Bildqualität

Ohne pathologischen Befund

Daraus ergibt sich folgende Verteilung:

Tabelle 13: Stratifizierung mit Zuordnung zu Geschlecht und Technik

Kategorie	Gesamt	Variable Rate		Konstante Rate	
		Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
Ohne Befund	25	5	6	5	9
Irritables Darmsyndrom	2	0	0	1	1
Verwachsungen	4	1	2	1	0
Stenosen	4	1	2	1	0
Entzündliche Erkrankungen	4	0	0	1	3
Organische Erkrankungen	8	3	0	4	1
Keine Aussage möglich	5	1	1	3	0
Gesamt	52	11	11	16	14

4.2. Zeitliche Struktur der Untersuchung

4.2.1. Sondenplatzierung

Die duodenale Intubation war bei allen Patienten erfolgreich. Gemäß der Empfehlungen in der Literatur wurde zur Refluxvermeidung die Sondenplatzierung distal des Treitz'schen Bandes angestrebt.

Tabelle 14: Zeitbedarf, Durchleuchtungszeit und -dosis bei unterschiedlicher Sondenlage in Bezug auf das Treitz'sche Band

Sondenlage		Dauer der Sondierung [min]	Dosis für Sondierung [cGycm ²]	Durchleuchtungszeit für Sondierung [min]
Vor Treitzschem Band	gültige Fälle	3		
	Mittelwert	21,33	1515,93	11,77
	Std.Abweichung	11,85	833,46	6,79
	Minimum	14	993,2	5,47
	Maximum	35	2477,1	18,97
	25. Perzentil	14	993,2	5,47
	Median	15	1077,5	10,88
	75. Perzentil	35	2477,1	18,97
Am Treitzschen Band	gültige Fälle	35		
	Mittelwert	19,33	1802,03	10,15
	Std.Abweichung	11,45	1546,67	6,51
	Minimum	0	267,8	2,95
	Maximum	44	5725,7	26,01
	25. Perzentil	11,5	715,25	5,35
	Median	15	1069,75	8,07
	75. Perzentil	28,5	2579,1	14,04
Hinter Treitzschem Band	gültige Fälle	14		
	Mittelwert	15,29	833,68	5,60
	Std.Abweichung	8,26	418,28	4,68
	Minimum	5	257,9	2,05
	Maximum	34	1738,4	17,82
	25. Perzentil	9,25	480,65	2,81
	Median	14,5	781,95	4,27
	75. Perzentil	18	1073,73	5,45

Zu erkennen ist, dass sowohl die Durchleuchtungszeit, als auch die Gesamtdauer der Sondenplatzierung von der proximalen zur distalen Lage abnimmt. Das erklärt sich daraus, dass bei erfolgloser, jedoch angestrebter Platzierung distal des Treitzschen Bandes die Sonde schließlich proximal der Flexura duodenojejunalis belassen wurde.

4.2.2. Instillations- und Dokumentationsphase

Die Durchleuchtungszeit und –dosen der Instillations- und Dokumentationsphase sind den folgenden Tabellen zu entnehmen:

Tabelle 15: Durchleuchtungszeit und -dosis der Instillations- und Dokumentationsphase unterschieden nach verwendeter Technik

	Deskriptive Statistik	Dosis Instillation und Dokumentation [cGycm ²]	Dosis Gesamt [cGycm ²]	DL-Zeit Instillation [min]	DL-Zeit Gesamt [min]
Konstante Rate	Mittelwert	6806,33	9780,61	9,18	21,60
	Std.Abweichung	11271,79	11522,59	12,89	10,16
	Minimum	0	1755,5	0	7,21
	Maximum	54637	54637	28,17	40,83
	25. Perzentil	2005	4133,65	4,78	13,74
	Median	4246,85	5295,5	9,99	18,02
	75. Perzentil	7066,9	11636,2	18,40	30,95
Variable Rate	Mittelwert	4973,95	6788,88	14,04	23,14
	Std.Abweichung	3536,77	3524,67	10,02	9,63
	Minimum	0	2314,20	0	8,43
	Maximum	14315,3	15185	34,13	40,78
	25. Perzentil	3042,43	4132,45	8,47	15,33
	Median	5044,15	6411	14,75	22,19
	75. Perzentil	6776,475	8688,23	19,45	30,46

Es fällt auf, dass die Dosis sowohl für Instillations- und Dokumentationsphase als auch für die gesamte Untersuchung bei der Untersuchung mit konstanter Instillationsrate höher ist. Die Durchleuchtungszeit ist erwartungsgemäß für die Untersuchung mit variabler Rate insgesamt höher.

4.2.3. Gesamtuntersuchung

Unter dem Begriff Gesamtuntersuchung ist der Zeitraum von Beginn der Sondierung bis Untersuchungsende zu verstehen. Folgende Tabelle geht auf die einzelnen Phasen der Untersuchung ein und beschreibt deren Zeitbedarf.

Tabelle 16: Zeitbedarf der einzelnen Untersuchungsphasen (Sondierung, Instillation, Dokumentation) und Gesamtuntersuchungszeit in Bezug auf die angewendete Technik

	Deskriptive Statistik	Zeitbedarf Sondierung [min]	Zeitbedarf Instillation [min]	Zeitbedarf Dokumentation [min]	Gesamt [min]
Konstante Rate	Mittelwert	20,43	22,21	3,87	50,16
	Std.Abweichung	12,58	6,89	16,56	15,99
	Minimum	0	10,4	-35,1	29,5
	Maximum	44	39,4	54,15	85
	25. Perzentil	11	15,89	-1,01	35
	Median	16	22,4	4,62	49
	75. Perzentil	34,75	27,71	12,28	61
Variable Rate	Mittelwert	15,64	33,32	10,88	59,84
	Std.Abweichung	6,90	11,4	7,8	16,56
	Minimum	5	15,1	0	32
	Maximum	35	57,15	37,6	104,75
	25. Perzentil	11,75	24,49	6,77	50
	Median	15	30,89	9,28	57
	75. Perzentil	17,75	41,55	14,69	66,25

Sieht man die Untersuchungen in Abhängigkeit zur Sondenlage, so ergeben sich folgende durchschnittliche Zeiten und Spannweiten:

Tabelle 17: Zeitstruktur in Abhängigkeit der Sondenlage unter Berücksichtigung der Untersuchungstechnik in Minuten (mit Standardabweichung und Angabe der Spannweite in Klammern)

	Konstante Rate			Variable Rate		
	Vor	Am	Hinter	Vor	Am	Hinter
Anzahl	n=2	n=17	n=9	n=1	n=16	n=5
Sondenplatzierung [min]	24,5 ± 14,85 (14-35)	22 ± 13,89 (0-44)	16,56 ± 9,7 (7-34)	15 ± 0	16,5 ± 7,57 (7-35)	13 ± 4,85 (5-17)
Kontrastmittel- Instillation [min]	6,43 ± 0,67 (5,95-6,9)	19 ± 4,91 (4,8-22,35)	7,18 ± 2,7 (3,6-10,65)	20,55 ± 0	18,7 ± 9,56 (5,8-43,05)	11,58 ± 4,05 (8,45-16,75)
Distensionsmittel- Instillation [min]	8,05 ± 0,42 (7,75-8,35)	13,21 ± 4,77 (7,4-29,1)	11,79 ± 4,25 (5,2-17,35)	12,7 ± 0	16,79 ± 7,39 (8,6-35,9)	14,82 ± 3,83 (9,85-19,8)
Dokumentations- Zeit [min]	12,52 ± 2,51 (10,75-14,3)	-1,22 ± 15,79 (-35,1-24,15)	12,7 ± 16,27 (1,45-54,15)	6,75 ± 0	11,23 ± 8,95 (0-37,6)	10,6 ± 3,76 (6,9-15,25)
Gesamt [min]	51,5 ± 16,26 (40-63)	51,08 ± 15,77 (29,5-83,35)	48,22 ± 18,04 (30-85)	55 ± 0	63,22 ± 18,29 (32-104,75)	50 ± 3,54 (45-55)

Ein negativer Wert im Bereich der Dokumentation ist so zu interpretieren, dass die Dokumentation bereits während der Instillationsphase durchgeführt wurde.

4.3. Kinetik von Kontrastmittel und Distensionsmedium

4.3.1. Physikalische Parameter von Kontrastmittel und Distensionsmedium

Vor jeder Untersuchung wurde die Temperatur der zu instillierenden Medien bestimmt und jeweils die Viskosität anhand eines Auslaufsbechers, wie er bereits in den beiden vorangegangenen Studien verwendet wurde (*Leppek et al. 1998, Ruhe 1996*), bestimmt.

Tabelle 18: Physikalische Parameter der Kontrast- und Distensionsmittel bei der Untersuchung mit variabler Instillationsrate

Kinetik Variable Rate	Kontrastmittel		Distensionsmittel	
	Viskosität [s Auslaufzeit]	Temperatur [°C]	Viskosität [s Auslaufzeit]	Temperatur [°C]
gültige Fälle	22	21	22	21
Mittelwert	81,73	26,82	14,32	29,14
Std.Abweichung	24,44	3,60	4,52	2,87
Minimum	20	21,4	11	23
Maximum	127	38	34	33,5
25. Perzentil	65,5	24	12,75	27,5
Median	83,5	27,2	14	29
75. Perzentil	98,5	28,35	14	31

Tabelle 19: Physikalische Parameter der Kontrast- und Distensionsmittel bei der Untersuchung mit konstanter Instillationsrate

Kinetik Konstante Rate	Kontrastmittel		Distensionsmittel	
	Viskosität [s Auslaufzeit]	Temperatur [°C]	Viskosität [s Auslaufzeit]	Temperatur [°C]
gültige Fälle	30	29	30	28
Mittelwert	12,3	34,49	10,27	35,87
Std.Abweichung	1,18	3,35	1,17	4,20
Minimum	11	26,20	8	26,80
Maximum	15	40	13	42
25. Perzentil	11	32	10	32,38

4.3.2. Kinetik der Kontrastmittel

Tabelle 20: Kinetik der Kontrastmittel (SD = Standardabweichung)

Konstante Instillationsrate							
	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil
Mittlere Flowrate [ml/min]	70,63	15,59	12	117	70	70	70,75
Instillierte Menge [ml]	741,67	181,03	350	900	575	800	900
Instillationsdauer [min]	9,76	4,63	3,6	22,35	6,38	9,11	10,68
Variable Instillationsrate							
	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil
Mittlere Flowrate [ml/min]	71,14	23,44	28	147	56,75	70	77,25
Instillierte Menge [ml]	472,73	92,23	200	650	500	500	500
Instillationsdauer [min]	17,17	8,84	5,8	43,05	12,31	15,55	20,4

Die beiden Techniken unterscheiden sich signifikant in der benötigten Kontrastmittelmenge (472,73 ml bei variabler Rate versus 741,67 ml bei der Technik mit konstanter Rate, $p < 0,001$), was sich dementsprechend auch in der benötigten Instillationsdauer des Kontrastmittels niederschlägt (17,17 min bei variabler Rate versus 9,76 min bei konstanter Rate, $p = 0,001$).

4.3.3. Kinetik der Distensionsmedien

Das Volumen des Distensionsmediums ist nicht in solch enge Vorgaben gebunden, wie die Kontrastmittel, sondern orientiert sich an den Erfordernissen während der Untersuchung. Dementsprechend variiert die Menge stärker.

Tabelle 21: Kinetik der Distensionsmedien (SD= Standardabweichung)

Konstante Rate							
	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil
Mittlere Flowrate [ml/min]	115,07	26,48	40	159	107,75	120	128
Instillierte Menge [ml]	1513,33	426,68	400	2000	1275	1725	1800
Instillationsdauer [min]	12,44	4,58	5,2	29,1	9,51	12,28	14,39

Variable Rate							
	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	25. Perzentil	Median	75. Perzentil
Mittlere Flowrate [ml/min]	107,45	28,53	40	166	126	88,75	104
Instillierte Menge [ml]	1586,36	399,76	1000	2400	1400	1287,5	1500
Instillationsdauer [min]	16,15	6,56	8,6	35,9	27,3	11,94	14,23

Bezüglich der instillierten Distensionsmediummenge und Instillationsrate besteht zwischen den beiden Techniken kein signifikanter Zusammenhang ($p > 0,05$), zumal in der Distensionsphase, die beiden Techniken sich außer der Zusammensetzung des Mediums nicht unterscheiden. Letzteres schlägt sich in dem signifikanten Zusammenhang der Dauer der Distensionsphasen nieder ($p = 0,02$). Die Technik mit variabler Rate mit dem visköseren Distensionsmedium hat eine längere Instillationsdauer.

4.3.4. Beeinflussung der Untersuchungsdauer durch physikochemische Parameter von Kontrastmittel und Distensionsmedium

Sowohl bei der Technik mit konstanter als auch bei der Technik mit variabler Instillationsrate haben Viskosität und Temperatur Einfluss auf die benötigte Instillationsdauer ($p < 0,05$). Je höher die Viskosität bzw. niedriger die Temperatur der Medien, desto länger dauerte die Instillation und somit die Untersuchung.

4.3.5. Vergleich der Patiententeilkollektive hinsichtlich der Kontrastmittelkinetik

In den folgenden Tabellen sollen –geordnet nach der jeweilig verwendeten Technik– die Teilkollektive verglichen werden, die nach den o.g. Leitkategorien aufgestellt wurden.

Tabelle 22: Vergleich der Kontrastmittelkinetik bei Teilkollektiven, die mit konstanter Instillationsrate untersucht wurden (mit Standardabweichung und Spannweite)

	Anzahl	Rate [ml/min]	Menge [ml]	Dauer [min]
Ohne Befund	14	66,79 ± 16,00 (12 – 80)	776,79 ± 183,05 (350-900)	11,12 ± 5,07 (5,00-22,35)
Irritables Darmsyndrom	2	93,5 ± 33,23 (70-110)	800 ± 0	7,45 ± 2,83 (5,45-9,45)
Verwachsungen	1	70	700	8,10
Stenosen	1	76	450	6,00
Entzündliche Erkrankungen	4	73,00 ± 6,00 (70-82)	625,00 ± 176,78 (500-875)	6,60 ± 2,32 (4,8-9,9)
Organische Erkrankungen	5	71,4 ± 4,98 (67-80)	765,00 ± 190,07 (500-900)	9,03 ± 1,50 (6,90-10,75)
Keine Aussage möglich	3	67,33 ± 23,12 (43-89)	766,67 ± 230,94 (500-900)	12,25 ± 8,39 (3,60-20,35)

Hervorstechendes Merkmal der vorstehenden Tabelle ist die Instillationsrate bei dem Kollektiv mit irritabilem Darmsyndrom, die mit 93,5 ml/min deutlich höher ist als bei den anderen Kollektiven.

Während in der nachfolgenden Aufstellung das Teilkollektiv „ohne Befund“ mit einer durchschnittlichen Instillationsrate von 70,36 ml/min untersucht wurde, fällt auf, dass die Rate bei den Patienten, bei denen schließlich keine Aussage möglich war, mit 108,5 ml/min deutlich erhöht war.

Tabelle 23: Vergleich der Kontrastmittelkinetik bei Teilkollektiven, die mit variabler Instillationsrate untersucht wurden mit Standardabweichung und Spannweite in Klammern

	Anzahl	Rate [ml/min]	Menge [ml]	Dauer [min]
Ohne Befund	11	70,36 ± 15,85 (48-100)	495± 78,91 (300-650)	16,16 ± 4,61 (8,85-25,03)
Irritables Darmsyndrom	0	0	0	0
Verwachsungen	3	71,33 ± 5,51 (65-75)	416,67 ± 104,08 (300-500)	14,02 ± 6,04 (8,65-20,55)
Stenosen	3	69,67 ± 22,37 (50-94)	500 ± 0	25,23 ± 15,44 (15,90-43,05)
Entzündliche Erkrankungen	0	0	0	0
Organische Erkrankungen	3	50,33 ± 21,13 (28-70)	400 ± 173,21 (200-500)	21,00 ± 15,54 (5,80-36,85)
Keine Aussage möglich	2	108,5 ± 54,45 (70-147)	500 ± 0	9,58 ± 1,59 (8,45-10,70)

Tabelle 24: Vergleich der Distensionsmittelkinetik bei Teilkollektiven, die mit konstanter Rate untersucht wurden mit Standardabweichung und Spannweite in Klammern

	Anzahl	Rate [ml/min]	Menge [ml]	Dauer [min]
Ohne Befund	14	116,79 ± 19,61 (70-147)	1610,71 ± 340,35 (850-2000)	14,38 ± 5,21 (7,75-29,10)
Irritables Darmsyndrom	2	118,00 ± 2,83 (116-120)	1375,00 ± 530,33 (1000-1750)	10,45 ± 3,11 (8,25-12,65)
Verwachsungen	1	120	1750	14,6
Stenosen	1	111	1000	7,55
Entzündliche Erkrankungen	4	142,75	1550,00 ± 264,58 (1300-1900)	8,39 ± 2,23 (5,20-10,00)

Organische Erkrankungen	5	100,60 ± 39,78 (40-136)	1500,00 ± 600,15 (500-2000)	12,26 ± 3,50 (8,35-17,10)
Keine Aussage möglich	3	92,00 ± 32,74 (56-120)	1216,67 ± 728,58 (400-1800)	11,33 ± 3,41 (7,40-13,35)

Beim Vergleich der Distensionsmittelkinetik fällt auf, dass bei Patienten mit entzündlichen Darmerkrankungen die mittlere Instillationsrate des Distensionsmediums mit 142,75 ml/min deutlich höher ist als bei den anderen Teilkollektiven. Die angestrebte reflektorische Darmatonie scheint bei diesen Patienten nur mit deutlich höheren Instillationsraten erreichbar zu sein.

Tabelle 25: Vergleich der Distensionsmittelkinetik bei Teilkollektiven, die mit variabler Rate untersucht wurden mit Standardabweichung und Spannweite in Klammern

	Anzahl	Rate	Menge	Dauer
Ohne Befund	11	107,18 ± 25,84 (72-55)	1581,82 ± 388,76 (1100-2400)	15,83 ± 5,16 (8,6-26,65)
Irritables Darmsyndrom	0	0	0	0
Verwachsungen	3	102,67 ± 63,00 (40-166)	1550,00 ± 278,39 (1300-1850)	19,52 ± 14,25 (9,95-35,90)
Stenosen	3	99,67 ± 7,77 (91-106)	1466,67 ± 57,74 (1400-1500)	13,80 ± 2,07 (11,60-15,70)
Entzündliche Erkrankungen	0	0	0	0
Organische Erkrankungen	3	105,67 ± 20,11 (89-128)	1633,33 ± 709,46 (1000-2400)	17,68 ± 8,86 (9,30-26,95)
Keine Aussage möglich	2	130,5 ± 14,85 (120-141)	1775,00 ± 742,46 (1250-2300)	14,13 ± 0,25 (13,95-14,30)

4.4. Beurteilung der Motilität

4.4.1. Passagezeit

Als Passagezeit wurde in der vorliegenden Arbeit, der Zeitabschnitt verstanden, der von Beginn der Kontrastmittelinstitution die Kontrastmittelsäule bis zum Erreichen der Bauhinschen Klappe benötigte. Da der Übertritt des Kontrastmittels in das Coecum stets mit einer Zielaufnahme festgehalten wurde, sind die Zeiten des First Pass recht zuverlässig, sowohl auf dem Röntgenbild als auch auf der Druckkurve dokumentiert.

Tabelle 26: Passagezeiten des Kontrastmittels (Beginn der Instillation bis Erreichen der Bauhin'schen Klappe) in Minuten nach Kategorien

	Kategorie	n	Mittelwert	Standard- abweichung
Variable Rate	o.B.	10	23,97	6,29
	Verwachsungen	3	22,82	11,79
	Stenosen	3	32,28	20,00
	org. Erkrankungen	3	27,57	20,96
	keine Aussage möglich	2	15,00	0,14
	Insgesamt	21	24,65	11,65
Konstante Rate	o.B.	13	15,15	6,57
	Irritables Darmsyndrom	2	7,55	1,56
	Verwachsungen	1	8,15	
	Stenosen	1	7,25	
	Entzündliche Erkrankungen	4	8,79	1,50
	org. Erkrankungen	5	11,50	3,75

	keine Aussage möglich	3	16,25	7,08
	Insgesamt	29	12,72	5,88
Insgesamt	o.B.	23	18,98	7,72
	Irritables Darmsyndrom	2	7,55	1,56
	Verwachsungen	4	19,15	12,10
	Stenosen	4	26,03	20,57
	Entzündliche Erkrankungen	4	8,79	1,50
	org. Erkrankungen	8	17,53	14,24
	keine Aussage möglich	5	15,75	5,05
	Insgesamt	50	17,73	10,52

Es ist darauf hinzuweisen, dass nicht jede Kategorie bei den unterschiedlichen Techniken vertreten war, so dass ein direkter Vergleich nicht möglich ist. Leider sind die Gruppengrößen für einen Vergleich oder allgemeine Aussagen in der Regel recht klein.

4.4.2. Subjektive Beurteilung der Motilität durch den Untersucher

Die Motilität wurde vom untersuchenden Arzt jeweils zu Beginn der Kontrastmittelinstillation, zu Beginn der Distensionsmediumgabe und bei Erreichen der Bauhinschen Klappe beurteilt. Dabei wurden die Kategorien:

„gering“ = 1

„normal“ = 2

„stark“ = 3

verwendet. Die Umwandlung der qualitativen Parameter in numerische Daten ermöglichte die weitere Bearbeitung.

Tabelle 27: Bewertung der Motilität durch den Untersucher bei Untersuchungen mit variabler Instillation (Mittelwert; Standardabweichung in Klammern)

	Beginn KMgabe	Beginn DMgabe	Erreichen des Colons
Mittlere Motilität	1,77 ($\pm 0,75$)	1,55 ($\pm 0,51$)	1,50 ($\pm 0,60$)

Tabelle 28: Bewertung der Motilität durch den Untersucher bei Untersuchungen mit konstanter Instillation (Mittelwert; Standardabweichung in Klammern)

	Beginn KMgabe	Beginn DMgabe	Erreichen des Colons
Mittlere Motilität	2,13 ($\pm 0,73$)	1,76 ($\pm 0,69$)	1,90 ($\pm 0,67$)

In den folgenden Abbildungen entsprechen die einzelnen Balken der Säulenpakete von links (1) nach rechts (3) jeweils den o.g. Noten.

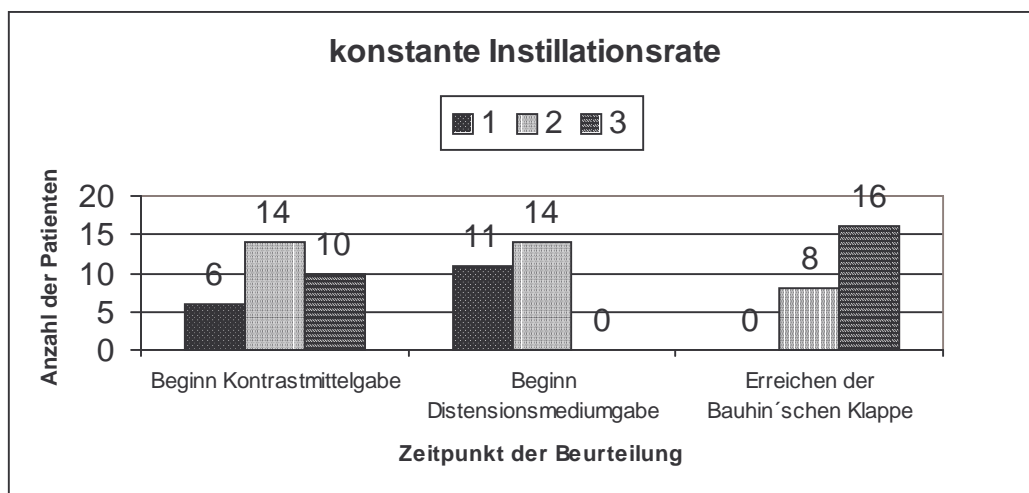


Abbildung 3: Beurteilung der Motilität durch den Untersucher bei Anwendung konstanter Instillationsrate

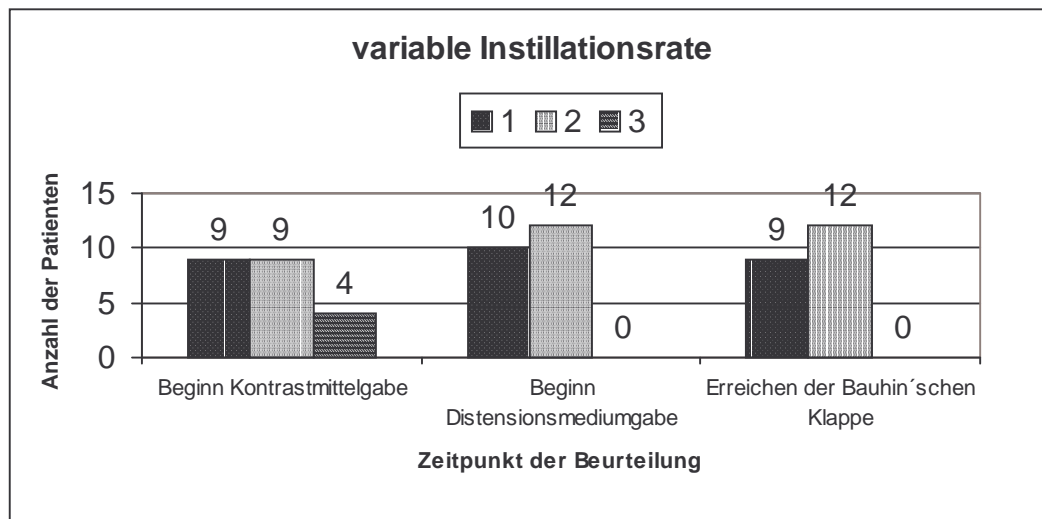


Abbildung 4: Beurteilung der Motilität durch den Untersucher bei Anwendung variablen Instillationsrate

Auffällig ist, dass bei der Untersuchungstechnik mit konstanter Rate 16 Patienten zum Beurteilungszeitpunkt „First Pass“ noch eine starke Motilität zeigen. Im Gegensatz dazu gibt es keinen Patienten mit geringer Peristaltik. Bei der variablen Instillationsrate bleibt die Anzahl der Patienten mit geringer Peristaltik über den Untersuchungsverlauf mit 9 bzw. 10 Patienten relativ konstant. Jeweils zu Beginn der Distensionsmediumgabe und bei Erreichen der Bauhin'schen Klappe gibt es keinen Patienten mit reger Peristaltik (3), was dem Anstreben einer relativen Hypoperistaltik bzw. reaktiven Darmatonie entspräche.

4.4.3. Vergleich der Passagezeit mit der subjektiven Beurteilung der Motilität bei den unterschiedlichen Kollektiven

Tabelle 29: Gegenüberstellung der Passagezeit zu den jeweiligen Motilitätsbeurteilungen der Untersucher bezogen auf die jeweiligen Teilkollektive, die mit konstanter Rate untersucht wurden. (Standardabweichung; Spannweite in Klammern)

Kategorie	n	Passagezeit [min]	Motilität zu Beginn der KM-Instillation	Motilität zu Beginn der DM-Instillation	Motilität bei Erreichen der Bauhinschen Klappe
o.B.	14	15,15 ± 6,56 (5,4-29,15)	1,86 ± 0,66	1,50 ± 0,52	1,79 ± 0,58
Irritables Darmsyndrom	2	7,55 ± 1,56 (6,45-8,65)	3,00 ± 0	3,00 ± 0	3,00 ± 0

Verwachsungen	1	8,15	3,00	2,00	2,00
Stenosen	1	7,25	2,00	3,00	3,00
Entzündliche Erkrankungen	4	8,79 ± 1,50 (6,65-10,15)	2,00 ± 0,82	2,25 ± 0,50	2,25 ± 0,50
andere org. Erkrankungen	5	11,50 ± 3,75 (8,42-16,95)	2,20 ± 0,84	1,40 ± 0,55	1,40 ± 0,55
keine Aussage möglich	3	16,25 ± 7,08 (8,10-20,90)	2,67 ± 0,58	1,50 ± 0,71	1,50 ± 0,71

Tabelle 30: Gegenüberstellung der Passagezeit zu den jeweiligen Motilitätsbeurteilungen der Untersucher bezogen auf die jeweiligen Teilkollektive, die mit variabler Rate untersucht wurden. (Standardabweichung; Spannweite in Klammern)

Kategorie	n	Passagezeit [min]	Motilität zu Beginn der KM-Instillation	Motilität zu Beginn der DM-Instillation	Motilität bei Erreichen der Bauhinschen Klappe
o.B.	10	23,97 ± 6,29 (12,00-35,50)	1,73 ± 0,9	1,73 ± 0,47	1,73 ± 0,47
Irritables Darmsyndrom	0	0	0	0	0
Verwachsungen	3	22,82 ± 11,79 (14,75-36,35)	2,00 ± 0	1,33 ± 0	1,00 ± 1,00
Stenosen	3	32,28 ± 19,99 (16,45-54,75)	2,00 ± 1,00	1,33 ± 0,58	1,33 ± 0,58
Entzündliche Erkrankungen	0	0	0	0	0
Andere org. Erkrankungen	3	27,57 ± 20,96 (7,8-49,55)	1,33 ± 0,58	1,33 ± 0,58	1,33 ± 0,58

keine Aussage möglich	2	15,00 ± 0,14 (14,90-15,10)	2,00 ± 0	1,50 ± 0,71	1,50 ± 0,71
------------------------------	---	-------------------------------	----------	-------------	-------------

4.5. Intraluminaler Druckverlauf

4.5.1. Eckdaten der Druckkurve

Die Eckdaten der Druckkurve beziehen sich auf bestimmte markante Punkte der Untersuchung:

- § Ruhedruck vor Beginn der Instillationsphase
- § Ende der Kontrastmittelinstillation
- § Ende der Distensionsmediumgabe
- § Maximaler während der Untersuchung erreichter intraluminaler Druck
- § Erreichen der Bauhin'schen Klappe

Eine Übersicht der entsprechenden Daten bietet folgende Tabelle:

Tabelle 31: Eckdaten der absoluten Druckkurve bei variabler Instillationsrate (SD= Standardabweichung)

Messzeitpunkt	Zeitpunkt [min]		Druck [cmH ₂ O]	
	Mittelwert ± SD	Spannweite	Mittelwert ± SD	Spannweite
Ruhe	0,00 ± 0,00	0 – 0	30,61 ± 13,55	14,07-74,17
Ende Kontrastmittelphase	17,17 ± 8,84	5,80-43,05	35,03 ± 11,82	9,23-65,00
First Pass	24,65 ± 11,65	7,8-54,75	48,54 ± 15,10	13,85-90,83
Maximaler Druck	33,32 ± 11,40	15,10-57,15	57,61 ± 15,76	21,67-92,50
Ende Distensionsphase	33,32 ± 11,40	15,10-57,15	46,44 ± 14,07	20,00-78,30

Tabelle 32: Eckdaten der absoluten Druckkurve bei konstanter Instillationsrate (SD= Standardabweichung)

Messzeitpunkt	Zeitpunkt [min]		Druck [cmH ₂ O]	
	Mittelwert ± SD	Spannweite	Mittelwert ± SD	Spannweite
Ruhe	0,00 ± 0,00	0 – 0	29,86 ± 14,96	4,67-73,33
Ende Kontrastmittelphase	9,76 ± 4,63	3,60-22,35	40,50 ± 14,98	7,33-80,00
First Pass	12,72 ± 5,88	5,4-29,15	45,83 ± 16,22	16,67-74,29
Maximaler Druck	17,56 ± 9,87	0 – 47,65	62,94 ± 17,48	32,0-106,67
Ende Distensionsphase	22,20 ± 6,89	10,4-39,2	51,74 ± 16,75	16,67-83,81

4.5.2. Druckverlauf bezogen auf den Ruhedruck

Während die unter 4.5.1. aufgeführte Eckdaten der Druckkurve die absolut gemessenen Werte darstellten, erhält man die relative Änderung der Drücke, indem man den Initialdruck von den gemessenen Druckwerten subtrahiert. Dadurch ist ein Vergleich der durch die Untersuchung ausgelösten intraluminalen Druckveränderungen unter Ausschaltung der interindividuell vorbestehenden Unterschiede im Ausgangsdruck möglich.

Tabelle 33: Eckdaten der relativen Druckkurve bei konstanter Instillationsrate (SD= Standardabweichung)

Messzeitpunkt	Zeitpunkt [min]		Druck [cmH ₂ O]	
	Mittelwert ± SD	Spannweite	Mittelwert ± SD	Spannweite
Ruhe	0,00 ± 0,00	0 – 0	29,86 ± 14,96	4,67-73,33
Ende Kontrastmittelphase	9,76 ± 4,63	3,60-22,35	10,64 ± 11,33	-17,78- 38,18
First Pass	12,72 ± 5,88	5,4-29,15	15,97 ± 14,58	-17,04- 47,15
Maximaler Druck	17,56 ± 9,87	0 – 47,65	33,08 ± 17,58	0-82,86
Ende Distensionsphase	22,20 ± 6,89	10,4-39,2	21,88 ± 17,37	-17,04-60

Tabelle 34: Eckdaten der relativen Druckkurve bei variabler Instillationsrate (SD= Standardabweichung)

Messzeitpunkt	Zeitpunkt [min]		Druck [cmH ₂ O]	
	Mittelwert ± SD	Spannweite	Mittelwert ± SD	Spannweite
Ruhe	0,00 ± 0,00	0 – 0	29,86 ± 14,96	4,67-73,33
Ende Kontrastmittelphase	17,17 ± 8,84	5,80-43,05	4,42 ± 12,43	-30,84- 23,33
First Pass	24,65 ± 11,65	7,8-54,75	17,93 ± 16,83	-30,84- 40,83
Maximaler Druck	33,32 ± 11,40	15,10-57,15	27,27 ± 13,95	0-47,41
Ende Distensionsphase	33,32 ± 11,40	15,10-57,15	15,82 ± 16,53	-32,5-44,45

4.5.3. Vergleich der Patiententeilkollektive hinsichtlich des Druckverlaufes

Nimmt man den Druckverlauf der relativen Druckwerte des Kollektives „ohne Befund“ als Bewertungsmaßstab, so ergeben sich höhere Druckniveaus für die Kollektive mit Briden, Stenosen, entzündlichen Erkrankungen und bei denen keine Aussage gemacht werden konnte. Das Niveau des Druckverlaufes der Kollektive mit organischen Erkrankungen und Colon irritabile liegen deutlich niedriger.

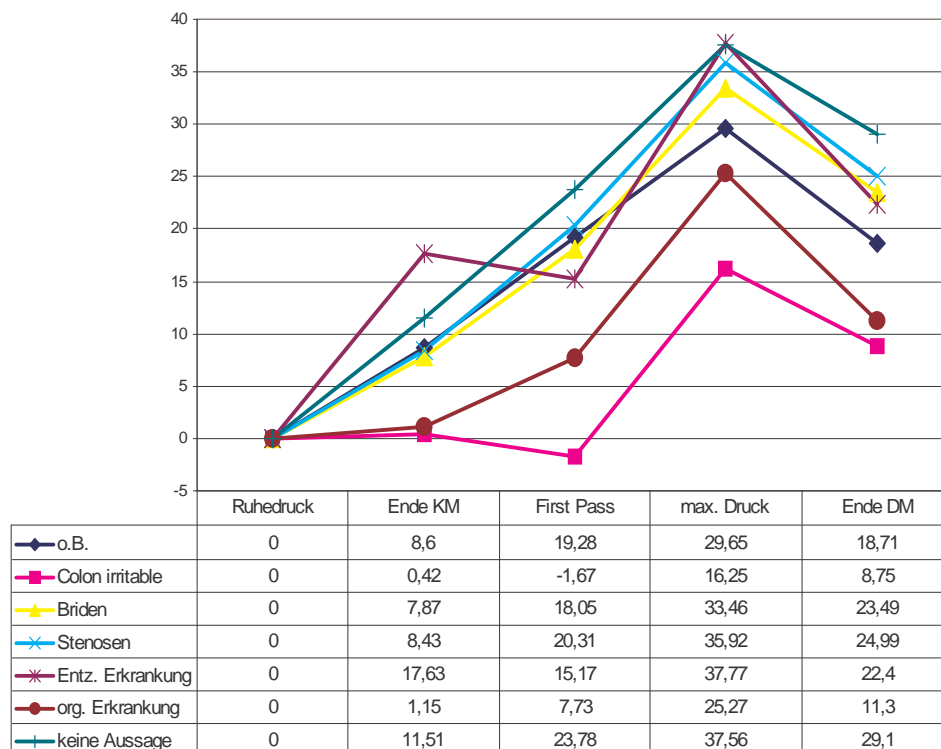


Abbildung 5: Verlauf der relativen Druckkurve bei den unterschiedlichen Teilkollektiven

4.6. Beurteilung der Darstellungsqualität anhand der Röntgenaufnahmen

4.6.1. Erkennbarkeit der verwendeten Technik in der Röntgenaufnahme

Die Röntgenaufnahmen wurden in einer beliebigen Reihenfolge den beiden bewertenden Oberärzten vorgelegt, wobei die Reihenfolge gegenläufig war. Da die Aufnahmen in zufälliger Reihenfolge ohne Bezug zur Untersuchungsmethode oder dem Untersuchungsdatum gezeigt wurden, war dem Bewertenden nicht bekannt, nach

welcher Technik die Untersuchung durchgeführt worden war. Beide sollten jeweils eine Vermutung zur verwendeten Technik abgeben.

In 30 Fällen konnte die verwendete Technik übereinstimmend identifiziert werden.

Tabelle 35: Vermutung zur verwendeten Technik
(Grundgesamtheit n= 52)

	Arzt A	Arzt B
Richtig identifiziert	38 (73,08%)	30 (58,82%)

Um die Ratewahrscheinlichkeit zu kontrollieren erfolgte die Auswertung des Kappa-Koeffizienten. Bei Arzt A war die Signifikanz der Übereinstimmungen zwischen tatsächlich verwendeter Technik und vermuteter Technik $p=0,001$. Bei einem Kappa-Koeffizienten von 0,442 scheint es einen starken Zusammenhang der Übereinstimmungen zu geben. Bei Arzt B waren die Übereinstimmungen mit $p=0,155$ nicht statistisch signifikant, was sich auch in einem niedrigen Kappa (0,192) ausdrückt.

4.6.2. Bewertung der Abbildungsqualität

Die Abbildungsqualität von Jejunum, Ileum und terminalen Ileum wurde in fünf Qualitätsstufen eingeordnet:

1 sehr gut

optimale und detailreiche Doppelkontrastdarstellung

2 befriedigend

im Gegensatz zur eingeschränkten Darstellungsqualität, wenn auch nicht optimale, so doch hinsichtlich der Übersichtlichkeit und Detailerkennbarkeit zufriedenstellende Aufnahme im Doppelkontrast

3 eingeschränkt

streckenweise fehlender Doppelkontrast bzw. nur in Prallfüllung vorliegende Darstellung

oder

aufgrund zu starker Überlagerung von Schlingenkonvoluten keine sichere Beurteilung möglich

4 nicht beurteilbar

kein Doppelkontrast

Nach o.g. Qualitätsstufen wurde auch ein sog. erster Gesamteindruck bewertet, der sich in der Zusammenschau auf alle von einem Patienten vorliegenden Röntgenbilder bezog.

Tabelle 36: Bewertung der ersten Gesamteindrucks anhand der o.g. Kriterien von 1 (gute Abbildungsqualität) bis 4 (nicht beurteilbar bzw. kein Doppelkontrast)

Arzt A		Arzt B	
Konstante Rate	Variable Rate	Konstante Rate	Variable Rate
2,43 ± 0,90	1,95 ± 0,84	2,63 ± 0,70	2,00 ± 0,69
p= 0,059		p=0,004	

Insgesamt kam es zu 28 Übereinstimmungen bezüglich der Note zum ersten Gesamteindruck, wobei 19 Patienten mit konstanter und 9 mit variabler Instillationsrate untersucht wurden. Die durchschnittliche Bewertung betrug bei den mit konstanter Rate untersuchten $2,58 \pm 0,77$ und bei den mit variabler Instillationsrate untersuchten Patienten $1,78 \pm 0,83$.

Um eine weitere Differenzierung der Abbildungsgüte vornehmen zu können, wurden neben dem ersten Gesamteindruck jeweils die einzelnen Darmabschnitte Jejunum, Ileum und terminales Ileum getrennt nochmals benotet.

Tabelle 37: Bewertung der einzelnen Darmabschnitte unter Berücksichtigung der verwendeten Technik (Durchschnittliche Note mit Standardabweichung); statistische Signifikanz des U-Tests nach Mann und Whitney

	Arzt A			Arzt B		
	Jejunum	Ileum	Terminales Ileum	Jejunum	Ileum	Terminales Ileum
Konstante Rate	2,30 ± 0,84	2,43 ± 0,86	2,67 ± 0,92	2,60 ± 0,72	2,70 ± 0,88	2,47 ± 1,22
Variable Rate	1,55 ± 0,60	2,14 ± 0,71	2,27 ± 1,20	1,86 ± 0,56	2,05 ± 0,79	2,00 ± 1,48
Signifikanz	p= 0,001	p=0,174	p=0,264	p=0,000	p=0,013	p=0,249

Augenfällig ist, dass die Abbildungsgüte von proximal nach distal abnimmt. Ebenso vergrößert sich die Standardabweichung, was darauf schließen lässt, dass die Darstellungsgüte des terminalen Ileums sehr variiert, was sich in der großen Qualitätsstufenspannweite niederschlägt.

Bei den übereinstimmenden Noten ergaben sich folgende Ergebnisse:

Tabelle 38: Bewertung der einzelnen Darmabschnitte unter Berücksichtigung der übereinstimmenden Benotungen

	Jejunum	Ileum	Terminales Ileum
Konstante Rate	2,56 ± 0,73 (n= 16; 53,33%)	2,44 ± 0,78 (n=18; 60,00%)	2,82 ± 1,08 (n=11; 36,67%)
Variable Rate	1,83 ± 0,58 (n=12; 54,54%)	2,20 ± 0,63 (n=10; 45,45%)	1,75 ± 1,28 (n=8; 36,36%)

4.6.3. Bewertung der Zottendarstellung

Die Zottendarstellung wurde in der vorliegenden Studie nicht quantitativ, sondern lediglich qualitativ ausgewertet, wobei die bewertenden Oberärzten jeweils entschieden, ob Zotten abgrenzbar waren oder nicht.

Übereinstimmend konnten bei konstanter Rate in 28 Fällen (93,33%) keine Zotten dargestellt werden. Zotten konnten bei keinem Patienten übereinstimmend gesehen werden.

Bei der patientenindividuell adaptierten Instillationsrate konnten in den Röntgenbildern von 13 Patienten (59,10%) keine und von 4 Patienten (18,18%) Zotten dargestellt werden.

Zwei Patienten (von 52) ohne pathologischen Befund wiesen lediglich das granuläre Schleimhautmuster auf. Bei 21 (von 52) gesunden Patienten konnte die Zottendarstellung nicht übereinstimmend dargestellt werden.

4.7. Nebenwirkungen und Verträglichkeit der Untersuchung

4.7.1. Art und Häufigkeit von Nebenwirkungen

Tabelle 39: Art und Häufigkeit der Nebenwirkungen

Art der Komplikation	Konstante Rate	Variable Rate
Abbruch wg. Vomit	1	0
Magenreflux	5	0
Magenreflux DM	0	2
Duodenalreflux	1	0
offener AP, Reflux	0	1
Hyperperistaltik	1	0
Hypoperistaltik	1	0
KM/ DM schäumt	1	0
Perforation	1	0
Gesamt	11	3

Obwohl in 8 Fällen ein Reflux beobachtet werden konnte, musste die Untersuchung nur einmal aufgrund Erbrechen abgebrochen werden.

5. Diskussion

5.1. Zeitliche Struktur der Untersuchung

5.1.1. Sondenplatzierung

Die Sondierung des Duodenums war bei allen Patienten erfolgreich. Angestrebt wurde die Platzierung der Sonde distal des Treitz'schen Bandes, was bei 27% (14/52) der untersuchten Patienten gelang. Bei 67% (35/52) wurde sie am Treitz'schen Band platziert. Lediglich bei 5% (3/52) der Patienten kam die Sonde proximal zum Liegen.

Die folgende Abbildung zeigt den durchschnittlichen Zeitbedarf für die Sondierung in Hinblick auf die Sondenlage.

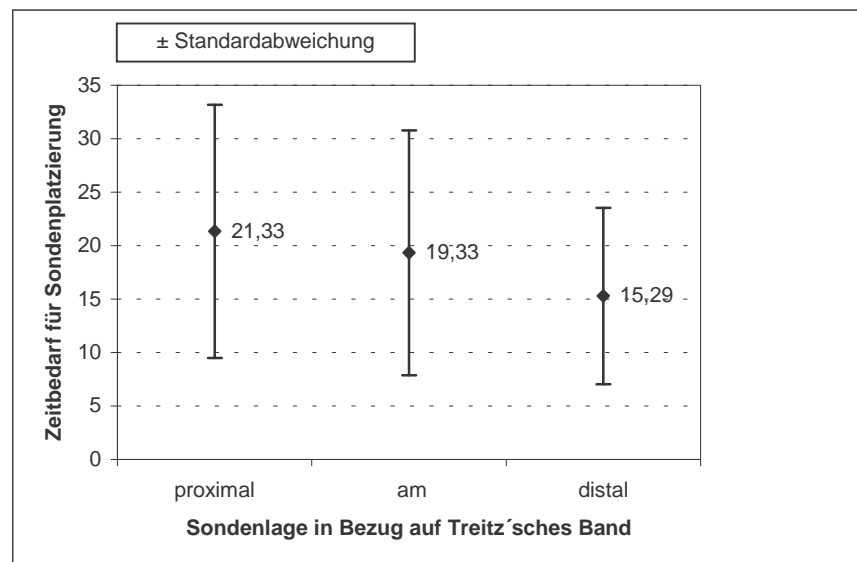


Abbildung 6: Zeitbedarf für die Sondenplatzierung in Minuten in Bezug auf die Sondenlage zum Treitz'schen Band

Für die entsprechende duodenale Intubation benötigte die Studiengruppe der vorangegangenen Studie (*Leppek et al. 1998*) für die Lage proximal 14,6 min, am Treitz'schen Band 8,4 min. und für die distale Position 9,2 min. Ruhe (*Ruhe 1996*) ermittelte für die proximale Lage $17,4 \pm 11,2$ min, bei Sondenlokalisation am Treitz'schen Band $8,7 \pm 2,4$ min und für die distale Position $10,1 \pm 5,3$ min.

Der Zeitbedarf für die Sondierung unabhängig von der erreichten Lage betrug im Mittel $18,32 \pm 10,65$ min. Ekberg (*Ekberg 1977*) gab für die Sondierung einen Zeitbedarf zwischen einer und 40 Minuten an, wobei in knapp 90% der Fälle weniger als 10 Minuten benötigt wurden. Bei Ott et al. (*Ott et al. 1985*) dauerte die Sondierung durchschnittlich 21 ± 10 Minuten, Nolan et al. (*Nolan et al. 1987*) gaben hingegen $8,66$

min an.

Die Durchleuchtungszeit dauerte im Mittel $8,89 \pm 6,31$ min. Hippeli und Grehn (*Hippeli et al. 1978*) benötigten durchschnittlich 3,5 min, Antes und Eggemann (*Antes et al. 1987*) 3,38 min und schließlich Traill und Nolan (*Traill et al. 1995*) 1,53 min.

Die erhebliche Schwankungsbreite der publizierten Ergebnisse deutet darauf hin, dass der Zeit- und Durchleuchtungsaufwand bei der Sondenplatzierung multifaktoriell beeinflusst wird. Neben den technischen Voraussetzungen, wie z.B. dem verwendeten Sondentyp, wird dieser Untersuchungsabschnitt im wesentlichen von der Geschicklichkeit und Übung des Radiologen beeinflusst. Bei entsprechender Übung des Untersuchers verkürzen sich sowohl der Zeitbedarf als auch die Durchleuchtungszeit für die Sondierung (*Hippeli et al. 1978*).

Bei den vorliegenden Daten ist zu erkennen, dass Durchleuchtungszeit und Gesamtdauer bezüglich der Sondenlage in Beziehung zum Treitz'schen Band von proximal nach distal abnehmen. Nach erfolgloser, jedoch angestrebter Platzierung distal des Treitz'schen Bandes wurde die Sonde schließlich proximal der Flexura duodenojejunalis belassen.

Gemäß den bisherigen Empfehlungen wurde die Sondenlage distal des Treitz'schen Bandes oder zumindest die Lage am Treitz'schen Band angestrebt (*Antes et al. 1986, Antes et al. 1987, Antes 1998b, Geiter et al. 1977*). Es wurde ein Zusammenhang zwischen der Sondenlage und dem Auftreten von Komplikationen postuliert (*Geiter et al. 1977, Hippeli et al. 1978, Rodl et al. 1986, Sanders et al. 1976*). Dieser Zusammenhang konnte in dieser Studie und ebenso in den beiden vorhergehenden Studien (*Leppek et al. 1998, Ruhe 1996*) nicht nachvollzogen werden. Auf die Häufigkeit und Art der Nebenwirkungen wird in Kapitel 5.6 noch näher eingegangen werden.

5.1.2. Instillations- und Dokumentationsphase

Der Zeitbedarf der Instillations- und Dokumentationsphase, also der Gesamtuntersuchungszeit abzüglich der Zeit für die Sondierung betrug für die Untersuchung mit konstanter Flussrate $26,07 (\pm 2,94)$ min im Gegensatz zur Untersuchung mit variabler Instillationsrate $44,20 (\pm 3,15)$ min ($p < 0,01$):

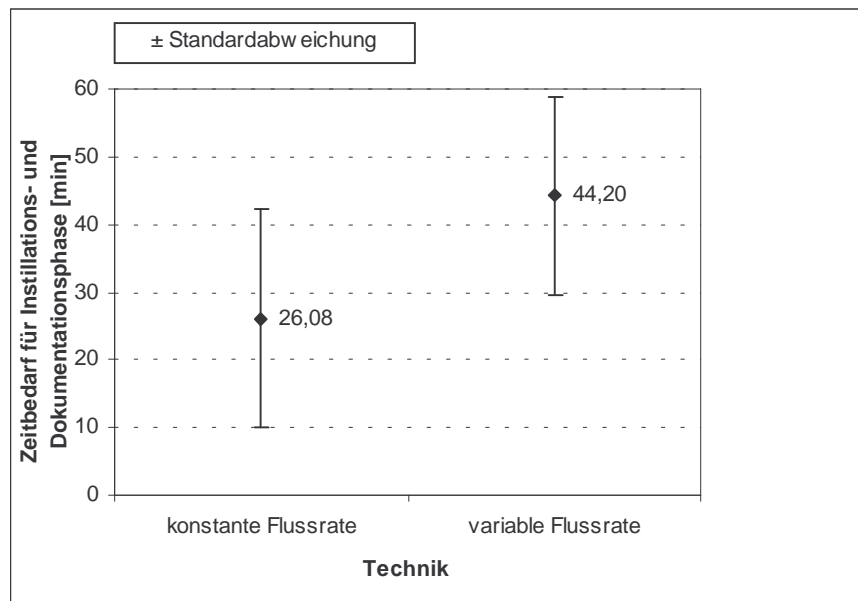


Abbildung 7: Zeitbedarf für die Instillations- und Dokumentationsphase mit Standardabweichung bezogen auf die verwendete Technik

Diese Untersuchungsphasen dauerten somit länger als bei der vorangegangenen Studie, die bei variabler Instillation im Mittel $32,9 \pm 10,4$ Minuten dauerten (Leppek et al. 1998).

Hippeli und Grehn (Hippeli et al. 1978) gaben einen Zeitbedarf von 21,2 Minuten bei einer Durchleuchtungszeit von 7,25 Minuten an. Rödl et al. (Rodl et al. 1986) benötigten durchschnittlich 26 Minuten für die Untersuchung ohne Sondierung.

Augenscheinlich ist, dass bei variabler Instillationsrate, zwar die Durchleuchtungszeit während der Instillation (14,04 min gegenüber 9,18 min, $p=0,14$) und auch während der Gesamtuntersuchung länger ist, aber die Gesamtdosis mit $6788,88 \text{ cGycm}^2$ (versus $9780,61 \text{ cGycm}^2$ bei konstanter Flussrate) niedriger ist.

Die Flussrate wird bei patientenindividuell adaptierter Kontrastmittelinstitution entsprechend der fluoroskopisch ermittelten Peristaltik modifiziert. Das schlägt sich, zwar statistisch grenzwertig, in der verlängerten Durchleuchtungszeit nieder.

Zu beachten ist, dass das Dosisflächenprodukt bei konstanter Flussrate höher ist. Neben der Feldgröße fließt jedoch bei automatischer Belichtung auch die Kontrastmittelmenge mit ein, die die Transparenz im abzubildenden Ausschnitt verringert.

5.1.3. Gesamtuntersuchung

Die Zeit von Beginn der Sondierung bis zum letzten Röntgenbild betrug bei konstanter

Instillationsrate 50,16 ($\pm 3,08$) Minuten und 59,84 ($\pm 3,53$) Minuten bei variabler Flussrate. Es besteht somit ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Gesamtuntersuchungszeit und der verwendeten Technik ($p= 0,04$).

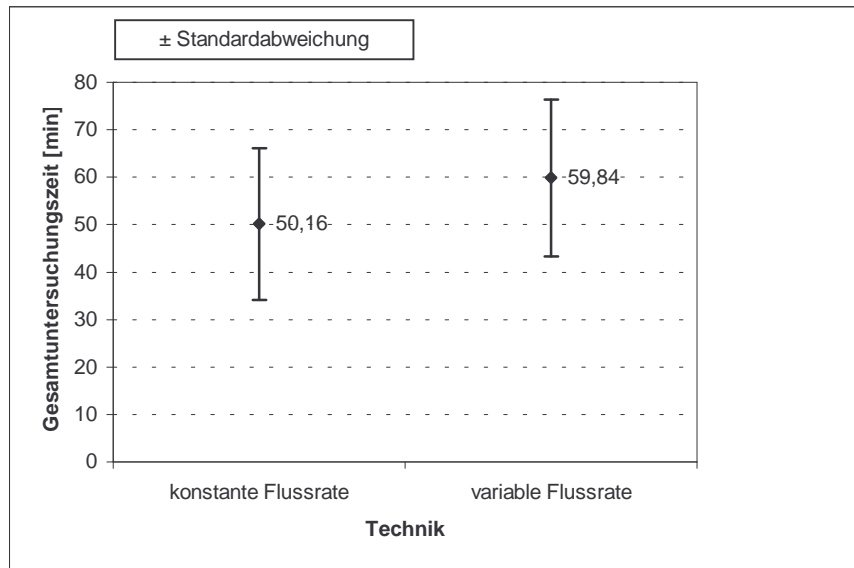


Abbildung 8: Gesamtuntersuchungszeit mit Standardabweichung bezogen auf die jeweils verwendete Technik

Die einzelnen Phasen der Untersuchung von der Sondierung über die Instillation bis hin zu Dokumentation nahmen unterschiedliche Anteile der Gesamtuntersuchungszeit in Anspruch, wie die folgenden Abbildungen zeigen.

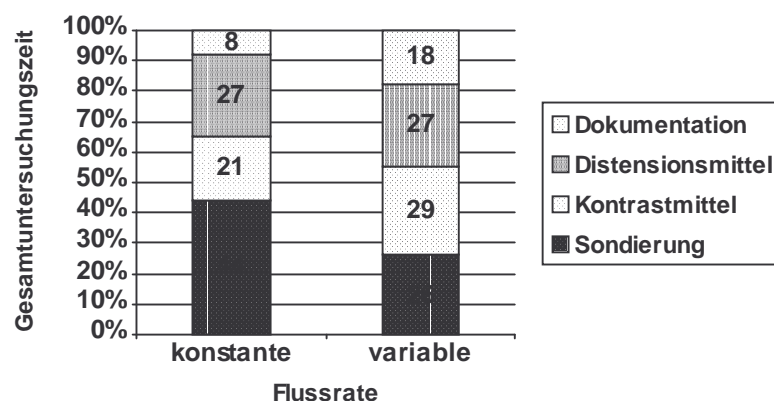


Abbildung 9: Prozentuale Gliederung der einzelnen Untersuchungsphasen gruppiert nach angewandter Technik

Bemerkenswert ist, dass der Zeitbedarf der Kontrastmittelinstitution bei variabler Flussrate größer ist als bei konstanter Rate. Obwohl sich die durchschnittliche Instillationsraten des Kontrastmittels nicht signifikant unterscheiden, so machen sich jedoch die Modifikationen bei variabler Flussrate im Zeitbedarf bemerkbar.

Des weiteren kann man den Zeitbedarf der Untersuchungsphasen abgesehen von der verwendeten Technik auch in Bezug auf die Sondenlage betrachten. Folgende Abbildungen bezeichnen, wie oben, den prozentualen Zeitbedarf der Phasen „Sondierung“, „Kontrastmittelinstitution“, „Distensionsmediuminstillation“ und „Dokumentation“ an der Gesamtuntersuchungszeit.

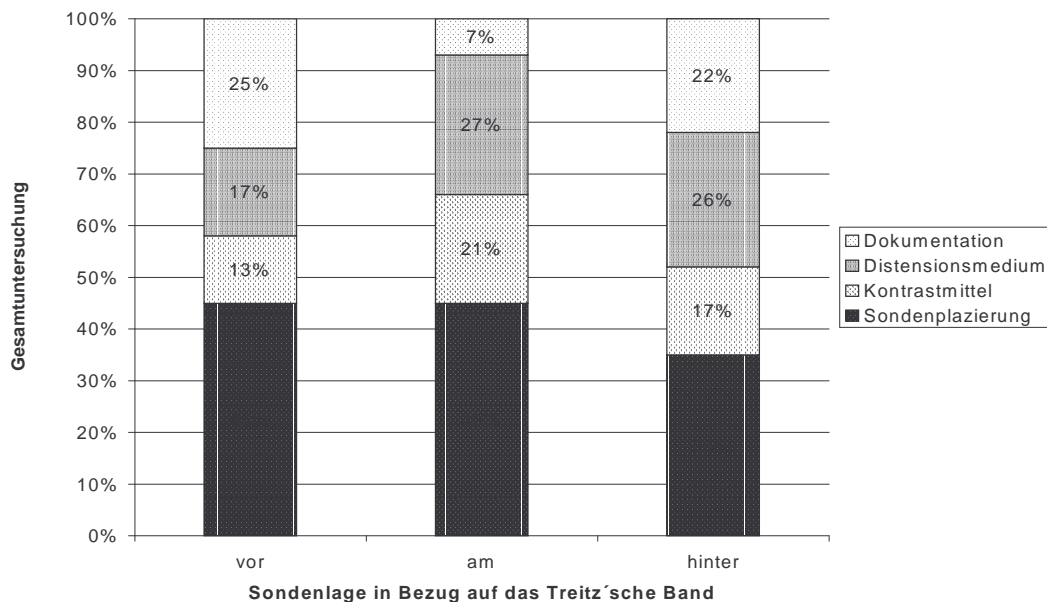


Abbildung 10: Prozentuale Gliederung der einzelnen Untersuchungsphasen bezogen auf die Sondenlage vor/am/hinter dem Treitz'schen Band bei **konstanter Flussrate**

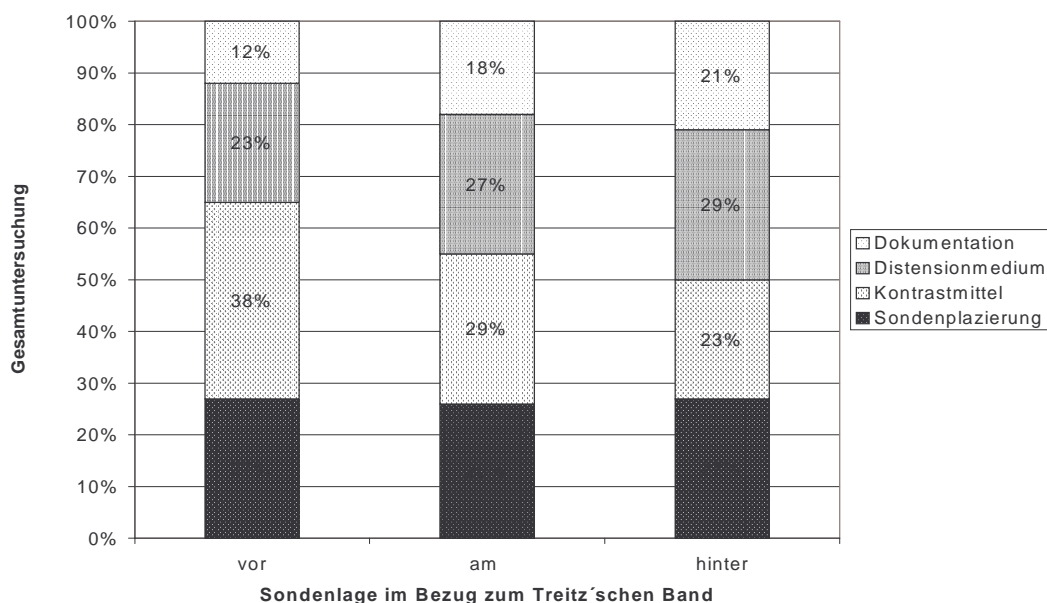


Abbildung 11: Prozentuale Gliederung der einzelnen Untersuchungsphasen bezogen auf die Sondenlage vor/am/hinter dem Treitz'schen Band bei **variabler Flussrate**

Sanders und Ho (*Sanders et al. 1976*) benötigten 25-30 Minuten für die gesamte Untersuchung einschließlich Intubation. Ekberg (*Ekberg 1977*) ermittelte Gesamtzeiten zwischen 15 Minuten und fünf Stunden, wobei 70% der Untersuchungen innerhalb von 45 Minuten beendet waren. Thoeni und Gould (*Thoeni et al. 1991*) gaben eine Gesamtuntersuchungszeit von $31,2 \pm 9,6$ Minuten an. Geiter und Fuchs (*Geiter et al. 1977*) ermittelten Untersuchungszeiten zwischen 15 und 30 Minuten, Hippeli und Grehn (*Hippeli et al. 1978*) hingegen einen Mittelwert von 36,75 Minuten.

Während die vorgenannten Ergebnisse für das Enteroklysma in Doppelkontrastdarstellung galten, wandten Ott et al. (*Ott et al. 1985*) die Monokontrasttechnik an und benötigten 44 ± 14 Minuten für die Gesamtuntersuchung.

Die großen Schwankungen der in der Literatur gefunden Ergebnisse deuten wiederum darauf hin, dass zahlreiche Faktoren die Untersuchungszeit beeinflussen: Sie variiert mit den individuellen Fähigkeiten des Untersuchers, der angewandten Untersuchungstechnik und dem benutzten Material, wie Sondentyp und Instillationsmodus, aber auch mit den anatomischen Verhältnissen und Darmmotilität des Patienten.

Maglinte (*Maglinte et al. 1982*) kam zu dem Ergebnis, dass die Gesamtuntersuchung zum einen abhängig von der Geschwindigkeit ist, mit der die Sonde positioniert werden kann, zum anderen von der Passagezeit des Kontrastmittels.

5.2. Kinetik von Kontrastmittel und Distensionsmedium

5.2.1. Physikalische Parameter von Kontrastmittel und Distensionsmedium

Die Temperatur der beiden Kontrastmittel befand sich mit durchschnittlich $26,8 \pm 3,6^\circ\text{C}$ mit Guaranzusatz und $34,5 \pm 1,18^\circ\text{C}$ mit Methylzellulose zwischen Raum- und Zimmertemperatur. Der Temperaturunterschied ist sicher auch durch die unterschiedliche Zubereitung zu erklären. Während das Kontrastmittel bei der konstanten Flussrate mit warmen Wasser (ein Teil Bariumsulfat auf zwei Teile Wasser) direkt vor der Untersuchung angesetzt wurde, wurde bei variabler Instillationsrate das zumeist am Vortag angesetzte Kontrastmittel (Guaran und Glycerin in 600 ml Bariumsulfat) mit der doppelten Menge Distensionsmedium aus dem Wasserbad verrührt. Im Wasserbad erreicht man problemlos ein Aufwärmen der Lösung. Ein Erwärmen auf Körpertemperatur ist allerdings aufgrund der Temperaturen, die das

Wasser des Wasserbades in Hinsicht auf 2000 ml Distensionsmedium haben müsste, nicht möglich. Das Kontrastmittel ist in diesem Fall ebenfalls nicht vorgewärmt, so dass ein Erreichen der Körpertemperatur unwahrscheinlich ist. Das Herstellen der entsprechenden Lösungen für die konstante Flussrate ist diesbezüglich einfacher, da das benötigte Wasser mühelos auf die gewünschte Temperatur erwärmt werden kann. Bezüglich der Temperatur ist die Zubereitung des Kontrastmittels mit Methylzellulose geeigneter und pragmatisch besser umzusetzen, da –wie oben erwähnt– die Zubereitung direkt vor der Untersuchung stattfindet.

In der Literatur sind die Empfehlung bezüglich der Temperaturen nicht einheitlich: Sellink empfahl, wie andere Autoren, in den Anfangsjahren des Enteroklysmas zunächst 10-15°C, rückte aber zunehmend zugunsten der Anwärmung auf Raumtemperatur ab (Sellink *et al.* 1981). Andere Autoren rieten zur Instillation der auf Körpertemperatur angewärmten Kontrast- und Distensionsmedien. Bei Applikation kalter Flüssigkeiten über die Sonde wurde häufig eine Neigung zu Brechreiz beobachtet, die durch den Vagusreiz im Rachen bedingt ist und sich durch die Anwärmung der Suspension weitgehend vermeiden lässt. Ein zu Beginn der Instillation auftretender Brechreiz lässt eigentlich ausnahmslos nach wenigen Sekunden nach.

5.2.2. Kinetik des Kontrastmittels

Die Kontrastmittelmenge war bei patientenindividuell adaptierter Instillationsrate signifikant niedriger (473 ± 93 ml gegenüber 736 ± 182 ml). Der Zeitbedarf für die Instillation ist allerdings signifikant größer ($17,2 \pm 8,8$ min gegenüber $9,8 \pm 4,7$ min; $p < 0,001$).

Die durchschnittliche Instillationsrate unterschied sich mit $71,1 \pm 23,4$ ml/min bei variabler Rate gegenüber $70,7 \pm 15,9$ ml/min nicht signifikant. Die Flussrate während der Kontrastmittelinstillation lag somit knapp unter der in der Literatur empfohlenen Instillationsgeschwindigkeit von 75 ml/min (Antes 1990, Oudkerk *et al.* 1988). Zu beachten ist, dass bei der hier durchgeführten Studie eine Doppellumensonde verwendet wurde, deren Innendurchmesser gegenüber konventionellen Sonden bei gleichem Außendurchmesser geringer ist. Zwischen dem zuführenden Schlauchsystem und der Dünndarmsonde bestand demnach ein größerer Kalibersprung, so dass es bei entsprechend hoher Kontrastmittelviskosität zu einem Rückstau des Kontrastmittels vor der Sonde kommen konnte. Dadurch könnte der Druck im Schlauchsystem derart steigen, dass der Druckgrenzwert der Rollerpumpe

überschritten werden würde und die Pumpe die Instillationsrate geräteintern nicht weiter steigern würde, um eine Ruptur der Schläuche und damit eine Patientengefährdung auszuschließen. Die Kontrastmittelviskosität, bei der dieses Phänomen zu beobachten ist, liegt nach Leppek et al. (Leppek et al. 1998) zwischen 45 und 65 Sekunden Auslaufzeit. Dieser Mechanismus macht sich bei konventionellen Sonden, geringeren Flussraten und geringerer Viskosität nicht so stark bemerkbar.

Aufgrund des schon erwähnten geringeren Innendurchmessers des Förderlumens ist der Fluss des Instillationsmediums höher, das geförderte Volumen pro Zeiteinheit allerdings geringer. Inwiefern der obengenannte Effekt, dass die Fördergeschwindigkeit bei höheren Flussraten geringer ist, durch den erhöhten Fluss innerhalb der Sonde verringert oder sogar aufgehoben wird, bliebe zu untersuchen.

5.2.3. Kinetik des Distensionsmediums

Das instillierte Volumen des Distensionsmediums war in beiden Kollektiven nahezu gleich ($1586,3 \pm 400$ ml bei variabler Flussrate gegenüber $1513,33 \pm 426,7$ ml bei konstanter Rate). Die Flussrate unterschied sich ebenfalls nicht ($107,45 \pm 28,53$ ml/min bei variabler Flussrate gegenüber $115,07 \pm 26,48$ ml/min bei konstanter Rate). Die Schwankungsbreite ist weit größer als bei den entsprechenden Parametern des Kontrastmittels. Das liegt unter anderem daran, dass das zu instillierende Volumen des Distensionsmediums von den individuellen Bedingungen des jeweiligen Patienten abhängig gemacht wird. Bei Patienten mit langem Dünndarm oder starker Motilität war die Instillation einer größeren Menge notwendig, um eine vollständige Distension des Dünndarms über seine gesamte Länge zu erzielen.

In der vorangegangenen Studie wurde ein mittleres Volumen von $1653,7 \pm 446,3$ ml bei einer mittleren Flussrate von $119,4 \pm 32,1$ ml/min ermittelt (Leppek et al. 1998).

5.2.4. Vergleich der Patientenkollektive hinsichtlich der Kontrastmittelkinetik

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Patientenkollektiven und der Kontrastmittelkinetik besteht nicht.

Hervorstechend ist, dass Patienten mit einem irritablem Darmsyndrom die höchste Flussrate mit $93,5 \pm 33,23$ ml/min bei konstanter Instillation aufzeigen. Leider wurde mit variabler Instillationsrate kein Patient mit irritablem Darmsyndrom untersucht, so dass leider kein direkter Vergleich möglich ist. Abgesehen davon sind nur zwei Patienten in

diesem Kollektiv erfasst, wovon nur einer mit einer Rate von 110 ml/min untersucht wurde. Bei variabler Instillationsrate sticht das Kollektiv ins Auge bei dem keine Aussage möglich ist, da es sich um eine Messreihe mit zwei Patienten handelt, von denen einer mit einer durchschnittlichen Rate von 147 ml/min untersucht wurde. Aufgrund des zu kleinen Stichprobenumfanges ist eine statistische Aussage nicht möglich.

5.3. Beurteilung der Motilität

5.3.1. Passagezeit

Die mittlere Passagezeit betrug bei den Untersuchungen mit konstanter Flussrate bei 12,72 ($\pm 5,88$) Minuten. Wurde eine variable Instillationsrate gewählt, vergingen vom Beginn der Kontrastmittelinstitution bis zum Übertritt des Kontrastmittels in das Coecum durchschnittlich 24,65 ($\pm 11,65$) min. In der vorangegangenen Marburger Studie wurden 18,69 ($\pm 7,71$) min ermittelt. Ruhe (*Ruhe 1996*) ermittelte 1996 in einer vergleichbaren Studie 14 (± 7) Minuten. Zu beachten ist, dass in der letzten erwähnten Studie nur gesunde Patienten erfasst wurden. So ist den 14 (± 7) Minuten in der vorliegenden Studie ein Mittelwert von 23,97 ($\pm 6,29$) min gegenüberzustellen. In den Marburger Studien wurden das Kontrastmittel jeweils mit variabler Rate instilliert, so dass aufgrund dessen ebenfalls eine eingeschränkte Vergleichbarkeit vorliegt. Ein Grund für die Differenzen stellen sicher die unterschiedlichen Instillationsgeschwindigkeiten dar. Bei Ruhe (*Ruhe 1996*) betrugen sie 96 ml/min für das Kontrastmittel und 102 ml/min für das Distensionsmedium. Leppek (*Leppek et al. 1998*) ermittelte durchschnittliche Instillationsraten für das Kontrastmittel von 52,7 ml/min und 119,4 ml/min für das Distensionsmedium. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine mittlere Instillationsrate von 70,63 bzw. 71,14 ml/min für das Kontrastmittel und 115,07 bzw. 107,45 ml/min für das Distensionsmedium ermittelt.

Angaben über die normale Passagezeit während des Enteroklysmas sind in der Literatur rar. Ekberg (*Ekberg 1977*) gab Werte zwischen 5 Minuten und bis zu 4,5 Stunden an, wobei in 95% der Fälle die Passage jedoch weniger als 50 Minuten in Anspruch nahm.

Bei durchleuchtungskontrollierten Kontrastmittelstudien zur Passagezeit, wurde das Kontrastmittel gewöhnlich peroral verabreicht, so dass infolge der Passage durch Magen und Duodenum und insbesondere durch die Pylorusfunktion keine

Vergleichbarkeit gegeben ist. Auch schwanken bei diesen Studien die angegebenen Transitzeiten erheblich, was auf große intra- und interindividuelle Unterschiede hinweist:

Goldstein et al. (*Goldstein et al. 1971*) berichteten nach peroraler Kontrastmittelgabe über Transitzeiten zwischen 15 Minuten und drei Stunden bei einem Mittel von 58 Minuten. Kim (*Kim 1968*) fand bei Patienten mit unauffälligem Befund bei der konventionellen Magen-Darm-Passage eine Transitzeit zwischen 15 Minuten und 5 Stunden. In 83% der Fälle war das Coecum jedoch in weniger als zwei Stunden erreicht. Das Mittel lag bei 84 Minuten. Unter Berücksichtigung anderer Studien kam Kim zum Schluss, dass die Passagezeit im Wesentlichen von der Magenentleerung und der applizierten Bariummenge (im Sinne einer schnelleren Magenentleerung bei höherem Kontrastmittelvolumen) abhängig ist. Eine Geschlechts- oder Altersabhängigkeit konnte sich nicht nachweisen lassen.

Mattson et al. (*Mattsson et al. 1960*) versetzten das Kontrastmittel mit verschiedenen Nährstoffen. Mit dieser Methode ergaben sich für gesunde Probanden Transitzeiten zwischen einer halben und 4 Stunden, bei einem Mittelwert von 1,9 Stunden. Die Ergebnisse belegen die erheblichen inter- und intraindividuellen Schwankungen in der Passagezeit schon bei Gesunden. Eine Abgrenzung eines Referenzbereiches erweist sich damit als schwierig.

Da es sich bei dem Kontrastmittel um ein nährstoffreies Agens mit einer spezifischen Osmolarität und einem hohen Flüssigkeitsgehalt handelt, ist es kein physiologischer Stimulator des Gastrointestinaltraktes. Gerade beim Enteroklysmas ist durch die Ausschaltung der Pylorusfunktion keine Aussage über die normale Dünndarmpassagezeit möglich. Bei der Applikation des Distensionsmediums ist eine Hemmung der Motilität durch die Volumenbelastung erwünscht und Voraussetzung für ein zufriedenstellendes Untersuchungsergebnisse.

Eine Beurteilung der Motilität ist hingegen sehr wohl möglich (*Antes 1990, Hildell 1990, Sellink et al. 1981*): Grobe Abweichungen der Passagezeit von der hier ermittelten lassen ebenso Aussagen zu, wie die Beobachtung der Motilität während der Kontrastmittelinstitution. Bei Patienten mit Hyperperistaltik kann eine starke Erhöhung der Instillationsrate erforderlich sein, um eine Hemmung der Peristaltik zu erzielen, während bei Hypomotilität ein geringerer Flow gewählt werden muss, um den Weitertransport des Kontrastmittels nicht zusätzlich zu behindern.

Da das Enteroklysma auf eine Hemmung der Darmperistaltik und eine weitgehende Distension der Darmschlingen abzielt, würde im Optimalfall im Laufe der Untersuchung bei allen Patienten eine Nivellierung der inter- und intraindividuellen Unterschiede in der Motilität eintreten und nach Instillation eine reflektorische Darmatonie eintreten. Die Dauer bis zum Erreichen dieses Zustandes lässt ebenso Aussagen zur Motilität zu, wie die Höhe der dazu notwendigen Instillationsrate.

Gegenüber der konventionellen Dünndarmpassage hat das Enteroklysma den Vorteil, die große Schwankungsbreite der Transitzeiten auf einem kleineren Zeitfenster abzubilden, so dass gleiche Aussagen mit einem geringerem Zeitaufwand getroffen werden können. Die Beurteilung der reinen Dünndarmmotilität ohne den fraktionierenden Einfluss des Pylorus ist ein spezieller Vorteil des Enteroklysmas.

5.3.2. Subjektive Beurteilung der Motilität durch den Untersucher

Zur weiteren Abgrenzung normaler von auffällig beschleunigter bzw. verlangsamter Motilität wurde durch den untersuchenden Arzt eine Beurteilung der Peristaltik vorgenommen.

Da die Instillation des Kontrastmittels eine Volumenbelastung mit konsekutiver reflektorischen Hemmung der Peristaltik führt, ist mit Fortdauer der Untersuchung eine Abnahme der Motilität zu erwarten.

Die Beurteilung erfolgte bei allen Patienten

- zu Beginn der Kontrastmittelinstillation: Zu diesem Zeitpunkt konnte die Darmmotilität kaum schon von der Instillation beeinflusst sein und entsprach somit weitgehend der beim Patienten normalerweise vorherrschenden Motilität.
- zu Beginn der Instillation des Distensionsmediums: Da das Kontrastmittel bereits vollständig instilliert wurde, konnte eine Änderung der Peristaltik erwartet werden.
- bei Erreichen der Bauhin'schen Klappe: Das Kontrastmittel hat bei Erreichen der Ileocoecalclappe den gesamten Dünndarm passiert. Spätestens zu diesem Zeitpunkt wäre eine Hemmung der Peristaltik wünschenswert, da nun zur optimalen Darstellung eine Distension anzustreben ist. Ein Weitertransport des Kontrastmittels durch das Kolon ist in Hinblick auf entstehende Überlagerungen durch kontrastmittelgefüllte Dickdarmschlingen ungünstig.

Zu Beginn der Untersuchung wurde die Motilität bei konstanter Instillationsrate bei 20% der nach dieser Technik untersuchten Patienten als „gering“ bezeichnet. Demgegenüber stehen 41% der Patienten, die mit variabler Rate untersucht wurden, und deren Peristaltik ebenfalls als „gering“ eingeordnet wurde. Aufgrund der Tatsache, dass die Viskosität des Kontrastmittels bei konstanter Flussrate niedriger war, könnte eine Ursache darin zu suchen sein, dass die Peristaltik zum Weitertransport des flüssigeren Kontrastmittels weniger beiträgt, als bei dem mit Guaran versetzten visköseren Kontrastmittel bei der Untersuchung mit variabler Instillationsrate. Es ist somit davon auszugehen, dass aufgrund der Kontrastmittelviskosität bei der konstanten Flussrate einige Patienten mit Hypomotilität verkannt und fälschlicherweise als normoperistaltisch erfasst wurden. Da zum Beurteilungszeitpunkt direkt nach Beginn der Instillation bei beiden Untersuchungstechniken eine Flussrate von 70 ml/min gewählt wurde, ist eine Beeinflussung durch die Modifizierung der Flussraten hier nicht gegeben.

Zu Beginn der Instillation des Distensionsmediums zeigt sich, dass eine rege Peristaltik nur noch bei 14% (4/29) der Patienten zu erkennen ist, die mit konstanter Flussrate untersucht wurden. Bei der Instillation mit patientenindividuell modifizierter Flussrate hingegen ist weder zu Beginn der Distensionsmediumgabe noch beim First Pass rege Peristaltik zu verzeichnen.

Entsprechend den Daten der Marburger Studie von 1998 (*Leppek et al. 1998*) zeigt sich im Verlauf der Untersuchung eine Verringerung der Motilität, ausgedrückt durch einen Abfall der Bewertungsziffern (von im Mittel 1,77 auf 1,50). Bei der größten Zahl der Patienten ist demzufolge im Zuge der Instillation eine Hemmung der Darmperistaltik zu erreichen. Diese reflektorische Darmatonie stellt eine Voraussetzung für das Erzielen aussagekräftiger Untersuchungsergebnisse dar. Hier ist auch die Überlegenheit des Enteroklysmas gegenüber den peroralen Untersuchungsmethoden zu sehen. Die Aufweitung des Darmlumen ermöglicht die Beurteilung der gesamten Schleimhautoberfläche.

Das Kollektiv mit konstanter Kontrastmittelinstillation zeigt diese gleichförmige Verminderung nicht. Nach einem Abfall der Motilität von Beginn der Kontrastmittelinstillation bis zum Beginn der Instillation des Distensionsmediums steigt die mittlere Peristaltik wieder an. Somit ist mit einer vermehrten Überlagerung der Dünndarmschlingen durch kontrastmittelgefüllte Kolonschlingen zu rechnen, da die

wieder einsetzende Peristaltik die Kontrastmittelsäule weiter vorantreibt. Während bei der modifizierten Flussrate 0% (0/21) zum Zeitpunkt des First Pass aufweisen, sind es bei konstanter Rate immerhin noch 17% (5/29) ($p=0,03$).

Einschränkend zur Beurteilung der Motilität zu sagen, dass sie sich allein auf den subjektiven Eindruck des Untersuchers stützt.

5.3.3. Vergleich der Passagezeit mit der subjektiven Beurteilung der Motilität

Im Vergleich der Zeit, die bis zum First Pass benötigt wird und der zum gleichen Zeitpunkt bewerteten Motilität besteht lediglich eine geringe Korrelation (Kendalls Tau: $r = -0,388$; Spearman Rho: $r = -0,478$, jeweils $p=0,01$). Je geringer der Zeitaufwand bis zum First Pass war, umso höher (also reger) war die Bewertung der Motilität. Dass die Korrelation nur so gering ausfällt, kann damit in Zusammenhang stehen, dass durch Pendelperistaltik eine rege Motilität vorgegeben wird, die aber am Transport der Kontrastmittelsäule nach aboral nicht wesentlich beteiligt ist. McKee et al. (McKee et al. 1993) beschreibt das häufigere Vorkommen von verlängerten Phase II-Motorkomplexen im Dünndarm bei irritablem Darmsyndrom. Zumeist fehlen die physiologischerweise folgenden und propagierenden Phase III-Komplexe. Des weiteren kommt es gehäuft zu sehr schwachen peristaltischen Bewegungen, die jedoch nicht zum Transport beitragen. Geht man also davon aus, dass die Motilität bei funktionellen oder organischen Erkrankungen erhöht ist, so ist die Korrelation unter Berücksichtigung der Krankheitsentitäten zu sehen. Auch diese partielle Korrelation, die den Einfluss der Zugehörigkeit zu den jeweiligen Patientenkollektiven kontrolliert, bestätigt den Zusammenhang der erhöhten Motilität zur verkürzten Passagezeit ($r = -0,484$, $p < 0,001$).

5.3.4. Vergleich der Patientenkollektive hinsichtlich der Motilität

Vergleicht man die Patientenkollektive hinsichtlich der subjektiven Beurteilung der Motilität, so werden lediglich statistisch grenzwertige Signifikanzen deutlich. Unter der Betrachtung der auffallenden Tendenzen ist zu erkennen, dass sich die Patientenkollektive –unabhängig von der angewandten Technik- nicht sehr unterscheiden. Bei der Beurteilung der Motilität zum Zeitpunkt des First Pass und am

Ende der Distensionsmediumgabe fallen in der einfaktoriellen ANOVA im Post hoc-Vergleich die Kollektive mit entzündlichen Darmerkrankungen und irritabilem Darmsyndrom auf, die eine durchschnittlich höhere Bewertung der Motilität erhielten als die anderen Kollektive ($p=0,055$ bzw. $p=0,075$). Dieses Ergebnis ist konkordant zu den von Leppek (*Leppek et al. 1998*) ermittelten Motilitätsbeurteilungen. Hier fiel vielmehr auf, dass sich die Peristaltik bei den o.g. Patientengruppen mit entzündlichen Darmerkrankungen durch die Instillation weniger hemmen ließ und somit gegen Ende der Untersuchung immer noch relativ hoch bewertet wurde. Während in der genannten Studie ein starkes Ansprechen der Peristaltik auf die Instillation bei Patienten mit irritabilem Darmsyndrom zum Ausdruck kam, sprechen die nun ermittelten Ergebnisse eher dafür, dass sich die Peristaltik sehr schwer mittels der vorgenommenen Volumenbelastung hemmen lässt. Die Peristaltik wurde von Beginn bis zum Ende der Untersuchung als „stark“ bezeichnet. An dieser Stelle muss jedoch eingeräumt werden, dass lediglich zwei Patienten mit einem nachgewiesenen irritabilem Darmsyndrom untersucht wurden. Die Ergebnisse können nur durch die klinische Erfahrung, dass sich im allgemeinen die Motilität bei genannter Patientengruppe schwerlich hemmen lässt, unterstützt werden.

5.4. Intraluminaler Druckverlauf

Über die in der Studie verwendete Doppellumensonde wurde parallel zur Instillation der im Darm herrschende Druck gemessen. Die Druckmessung sollte Aufschluss geben, ob sich durch die Instillation hervorgerufene Tonusänderungen der Darmwand auch in den Veränderungen des endoluminalen Druckes widerspiegeln und so gegebenenfalls eine Anpassung der Instillationsrate über den vorherrschenden Druck möglich wäre.

Aussagen zur allgemeinen Motilität im Sinne der bei peristaltischen Wellen zu erwartenden Druckschwankungen waren nicht zu treffen, da der Druck punktuell am Ende der Sonde gemessen wurde. Für die Übertragung der peristaltischen Wellen auf den Messkanal erwies sich das verwendete Material zu rigide. Bei experimentellen Versuchsanordnungen mit einer weniger rigiden Doppellumensonde konnten sogar die zyklischen Druckschwankungen erfasst werden, mit der die Rollerpumpe das Instillationsmedium durch die Sonde fördert. So wäre davon auszugehen gewesen, dass so die peristaltischen Darmbewegungen sich auch hätten in der Druckkurve niederschlagen können. Eine Interferenz zwischen Rollerpumpe und Darmperistaltik

wäre allerdings auch denkbar. Die Sonde erwies sich jedoch in der Praxisanwendung schon bei der Sondierung als zu weich. Die Sonde knickte trotz des innenliegenden Führungsmandrins ab, so dass die Passage des Pylorus nicht erfolgen konnte. Wir verfolgten die Entwicklung dieser elastischeren Sonde nicht weiter, da sich jegliche Erhöhung der Rigidität auch auf den Aussendruckmesser niedergeschlagen hätte. Die Studie wurde so mit der bereits vorhandenen Doppellumensonde durchgeführt. Der gemessene endoluminale Druck ist somit als Mittelwert aufzufassen.

5.4.1. Eckdaten der Druckkurve

Die von uns aufgezeichnete Druckkurve hatte bei den meisten Patienten ein relativ uniformes Aussehen. Ausgehend vom Ruhedruck mit einem Mittelwert von 30,61 cmH₂O bei variabler und 29,86 cmH₂O bei konstanter Instillationsrate wurde im Laufe der Kontrastmittelinstillation ein Druckanstieg bis 35,03 cmH₂O bzw. 40,50 cmH₂O erreicht. Zum Zeitpunkt des Erreichens der Bauhin'schen Klappe lag im Mittel ein endoluminaler Druck von 48,54 cmH₂O bzw. 45,83 cmH₂O vor. Gegen Ende der Applikation des Distensionsmediums wurde ein Druck von 46,44 cmH₂O bzw. 51,74 cmH₂O erreicht. Der maximale Druck wurde entweder gegen Ende der Instillationsphase oder kurz nach deren Beendigung erreicht und betrug im Mittel 57,61 cmH₂O bei variabler und 62,94 cmH₂O bei konstanter Instillationsrate.

Bei einem Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Druckwerten ist zu sehen, dass die in dieser Studie ermittelten Werte höher liegen. Hightower (*Hightower 1968*) gibt für den intraluminalen basalen Druck Werte zwischen 5,3 und 13,6 cmH₂O bei einem Mittelwert von 8-9 cmH₂O. Druckwellen durch Kontraktionen der Darmwand, die zur Superposition des basalen Druckwertes führen, haben nach Hightower Amplituden zwischen 5 und 80 cmH₂O.

An dieser Stelle ist zu beachten, dass sich der Druckaufnehmer außerhalb des Patienten befand. Es wurde zwar darauf geachtet, dass die Höhe des Patienten eingehalten wurde, aber es war nicht sichergestellt, dass er in Höhe der Flexura duodenojejunalis befand. Auftretende Übelkeit oder ein Druckgefühl in der Magenregion konnten durch das Kippen des Untersuchungstisches gemindert werden. Die Höhendifferenz müsste dann jeweils vom ermittelten Druck subtrahiert werden. Zwar blieb das Neigen des Tisches aufgrund der Messanordnung wenigen Fällen vorbehalten, aber so ist an dieser Stelle sicher auch ein Grund der erhöhten Messungen zu suchen.

5.4.2. Druckverlauf bezogen auf den Ruhedruck

Da die Ruhedruckwerte interindividuellen Schwankungen unterlagen, erfolgte eine Auswertung der Druckänderungen. Dazu wurde der Ruhedruck von dem absoluten Druckwert subtrahiert. Somit können Aussagen über die Druckveränderungen im speziellen während des Enteroklysmas getroffen werden.

Während der Kontrastmittelinstitution betrug der Druckanstieg bei konstanter Rate 10 cmH₂O. Somit konnten die Ergebnisse der vorangegangenen Studie bestätigt werden (Leppek et al. 1998). Die Veränderung gegenüber des Ruhedruckes fiel bei variabler Instillationsrate mit 4,42 cmH₂O um etwa die Hälfte niedriger aus ($p=0,06$). Es lässt sich vermuten, dass die bei Anpassung der Instillationsrate auf die individuelle Peristaltik die Volumenbelastung weniger groß ist als bei konstanter Rate.

Augenfällig ist, dass es die Spannweite der Druckänderungen auch negative Werte enthält, es also im Rahmen der Kontrastmittelinstitution nicht zu Druckanstiegen sondern vielmehr zu Druckabfällen kommt. Damit ist davon auszugehen, dass bereits die empfohlene und empirisch ermittelte Instillationsrate (Oudkerk et al. 1988) von 70 ml/min eine reflektorische Atonie auszulösen vermag. Umso mehr sollte der Peristaltik zu Beginn der Kontrastmittelinstitution Aufmerksamkeit geschenkt werden, hängt doch daran die Kohärenz und somit die Aussagefähigkeit der durchgeführten Untersuchung.

Im Verlauf bemerkenswert ist beim Vergleich der unterschiedlich angewendeten Instillationsraten, dass bei Patienten, die mit konstanter Rate untersucht wurden der Druckanstieg bis zum Erreichen der Ileocoecalklappe mit 5,33 cmH₂O wesentlich geringer ausfällt als der Druckanstieg bei Patienten mit variabler Instillationsrate mit 13,51 cmH₂O. Es kann davon ausgegangen werden, dass somit bei patientenindividuell adaptierter Instillationsrate die latent herrschende Volumenbelastung beim First Pass parent wird während sie bei konstanter Rate erst im Maximaldruck zum Ausdruck kommt (33,08 cmH₂O vs. 27,27 cmH₂O).

Gegen Ende der Distensionsphase erfolgt in der Regel wieder ein Druckabfall. Die Druckwerte fallen unter den ermittelten Ruhedruck ab, was sicher auf die Distention und der damit verbundenen und angestrebten reflektorischen Darmatonie zurückzuführen ist.

5.4.3. Vergleich der Patientenkollektive hinsichtlich des Druckverlaufs

Leider lässt der Vergleich der Patientenkollektive hinsichtlich des Druckverlaufes keine statistisch eindeutig signifikanten Aussagen zu. Die einfaktorielle ANOVA ohne Kontrolle des Fehlerniveaus Typ I (Duncan) deutet an, dass sich das Patientenkollektiv mit Colon irritabile von den anderen Kollektiven unterscheidet. Bei Kontrolle des Fehlerniveaus (Ryan-Einot-Gabriel-Welsch-Bereich) ist dieser Unterschied nicht mehr nachzuvollziehen.

Somit bleibt dieser Vergleich lediglich auf die Deskription des Druckverlaufes beschränkt. Bei Patienten ohne nachweisbaren pathologischen Befunde ist ein nahezu linearer Druckanstieg bis zum First Pass zu erkennen. Danach erfolgt ein Druckabfall am Ende der Distensionsphase. Bei Patienten mit Briden oder Stenosen liegt das Druckniveau über dem der Patienten ohne pathologischen Befund. Die Peristaltik scheint wirksam gegen den aufgetretenen Widerstand zu arbeiten. Das Druckniveau bei Patienten mit Colon irritabile und organischen Erkrankungen liegt sichtlich niedriger. Der ermittelte Druck beim Erreichen der Bauhin'schen Klappe ist sogar niedriger als der Ausgangsdruck. Es fehlt scheinbar an einer wirkungsvollen Peristaltik. McKee et al. (McKee et al. 1993) beschreibt beim Colon irritabile das Fehlen einer wirkungsvollen Peristaltik, was die Beschreibung der hiesigen Druckkurve nur bestätigen kann. Es handelt sich um eine recht schnell eintretende reflektorische Darmatonie mit konsekutiver Distension (Druckabfall).

Bemerkenswert ist weiterhin die Gruppe der Patienten mit entzündlichen Darmerkrankungen. Ihr Druckverlauf erscheint gegenüber der weitgehend uniformen Druckkurven der anderen Kollektive unstetig. Vom Ende der Kontrastmittelinstitution bis zum Erreichen der Bauhin'schen Klappe scheint sich eine Art Plateau einzustellen, um danach einen im Vergleich recht hohen Maximaldruck zu erreichen. Der Verlauf macht einen sprunghaften Eindruck, was mit dem zumeist segmentalen Befall der Darmwand in Einklang zu bringen wäre. Nicht entzündliche Segmente reagieren sehr plötzlich sehr stark während entzündliche Segmente in der Motilität sehr stark eingeschränkt sind und unter Umständen eine relative Stenose darstellen, gegen die die Peristaltik anzukämpfen hat.

5.5. Beurteilung der Darstellungsqualität anhand der Röntgenaufnahmen

5.5.1. Bewertung der Abbildungsqualität

Unter optimalen technischen Bedingungen erlaubt das Enteroklysma durch die Distension die Beurteilung der Dünndarmschlingen im Doppelkontrast. Die Darstellung des distalen und terminalen Ileums gemessen an den weiter proximal gelegenen Darmabschnitten bereitet gelegentlich Schwierigkeiten. Ziel der vorliegenden Studie war es, diese Doppelkontrastdarstellung weiter zu optimieren.

Um Aussagen über die Güte der Abbildung zu bekommen, wurden die Röntgenaufnahmen der Studienpatienten zwei Fachärzten der radiologischen Abteilung vorgelegt. Die Bewertung erfolgte anhand gegebener Kriterien, die auf dem Grad der erzielten Doppelkontrastdarstellung zunächst als Gesamteindruck und dann im jeweiligen Dünndarmabschnitt beruhten.

Bei der Bewertung des Gesamteindrucks schneidet die Untersuchungsmethode mit der patientenindividuell adaptierten Instillationsrate bei beiden Begutachtern hinsichtlich der kohärenten Füllung und der Transparenz besser ab ($p=0,059$ bzw. $p=0,004$).

Die Abbildungsgüte der einzelnen Darmabschnitte fällt bei beiden verwendeten Techniken bei beiden Begutachtern von oral nach aboral. Bei Instillation mit konstanter Rate wurde das Jejunum durchschnittlich mit 2,3 bzw. 2,6 bewertet. Das terminale Ileum kann nur noch eine durchschnittliche Bewertung von 2,67 bzw. 2,47 erreichen. Dies ist ein regelmäßig beobachtetes Phänomen (*Fleckenstein et al. 1975, Hippeli et al. 1978, Leppek et al. 1998, Rodl et al. 1986, Ruhe 1996*), dass vor allem auf zwei Ursachen zurückgeführt werden kann: Mit zunehmender Dauer der Darmpassage kommt es zu einer zunehmenden Kontrastmitteldesintegration und damit zu einem verschlechterten Wandbeschlagn. Dabei scheint, wie die vorliegende Studie zeigt, die Zusammensetzung (mit oder ohne Guaran, mit oder ohne Methylzellulose) des Kontrastmittels keine entscheidende Rolle zu spielen. Zudem bilden die distalen Dünndarmabschnitte Konvolute, die sich bei Lage im Becken schlechter separieren lassen und so die Darstellung des Ileums gegenüber dem Jejunum erschweren.

Während die angewandte Technik im Jejunum noch eine große Rolle bei der Bewertung spielt ($p=0,013$ bzw. $0,005$), ist im terminalen Ileum keine der beiden Techniken überlegen ($p=0,264$ bzw. $0,249$). Die Bewertung der Bilder mit variabler

Instillationsrate wurden durchweg besser beurteilt –statistisch signifikant im Jejunum.

5.5.2. Bewertung der Zottendarstellung

Mit der von Desaga et al. (*Desaga et al. 1984*) 1984 vorgestellten Modifikation des Enteroklysmas gelang die Darstellung der Feinstruktur der Dünndarmschleimhaut. Er verwendete eine hochmolekulare Guaranfraktion als Distensionsmedium und setzte es dem Kontrastmittel zu (*Desaga 1987b*). So war es möglich, das Zottenrelief als feine, granuläre Schleimhautzeichnung sichtbar zu machen (*Desaga 1989*). Eine mukolytische Vorbehandlung führt infolge der verminderten Viskosität und der Verminderung des Mukos zu einer weiteren Verbesserung der Zottendarstellung.

Desaga kommt aufgrund seiner Untersuchungen zum Schluss, dass bereits das Fehlen des typischen granulären Schleimhautmusters einen pathologischen Befund darstellt (*Desaga 1987a*). Eine segmentale Aufhebung des Musters sei beispielsweise bei der radiogenen Enteritis der Fall, während eine diffuse Vergröberung am ehesten bei Morbus Crohn zu finden sei. Segmentale Vergröberungen fänden sich vor allem bei Malabsorption nach Billroth II-Resektionen. Das intestinale Proteinverlustsyndrom sei bei flauer und vergrößerter Schleimhautzeichnung im distalen Ileum mit Verbreiterung der Kerckringschen Falten anzunehmen.

Diese Befunde setzen allerdings voraus, dass die von Desaga angewandte Untersuchungstechnik bei dünn darmgesunden Patienten stets zu einer optimalen Darstellung der granulären Schleimhautzeichnung führt, um sicher bei deren Fehlen auf einen pathologischen Befund schließen zu können.

In der vorliegenden Studie konnte das granuläre Schleimhautmuster lediglich bei vier Patienten übereinstimmend nachgewiesen werden. Bei der Mehrzahl (21/52) der Patienten ohne pathologischen Befund konnten keine Zotten dargestellt werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen die dieser Studie vorangegangenen Untersuchungen (*Leppek et al. 1998, Ruhe 1996*), obwohl diese die Zottendarstellung auch innerhalb der einzelnen Darmabschnitte beurteilten. Somit kann der Schluss bestärkt werden, dass die regelrechte Darstellung des Zottenreliefs zwar als positives diagnostisches Zeichen gesehen werden kann, eine Abweichung von der Morphologie oder ein Fehlen keineswegs gleichbedeutend oder sogar beweisend für einen pathologischen Befund gewertet werden kann.

5.6. Nebenwirkungen und Verträglichkeit der Untersuchung

5.6.1. Art und Häufigkeit von Nebenwirkungen

Die während der Untersuchung aufgetretenen Nebenwirkungen waren selten. Am häufigsten (5 mal) wurde der Reflux der instillierten Medien beobachtet. Dies führte in nur einem Fall zum Abbruch der Untersuchung aufgrund des auftretenden Vomit. Das Auftreten von Komplikationen war unabhängig von der verwendeten Technik ($p=0,790$).

In einem Fall musste die Untersuchung abgebrochen werden, da unterhalb der Zwerchfellkuppel freie Luft zu sehen war. Diese war am ehesten auf die am Tag zuvor unternommene Dickdarmbiopsie zurückzuführen. Auftretende Übelkeit war sonst lediglich von geringer klinischer Bedeutung und besserte sich meist nach sehr kurzer Zeit spontan. Bei wenigen Patienten hielt die Übelkeit länger an, wobei das Neigen des Untersuchungstisches zumeist Linderung erbrachte.

In der Literatur wird häufig ein Zusammenhang zwischen Sondenlage und dem Auftreten von Komplikationen postuliert (*Geiter et al. 1977, Hippeli et al. 1978, Rodl et al. 1986, Sanders et al. 1976*). Dieser konnte – wie auch in den beiden vorangegangenen Studien- nicht nachvollzogen werden.

Geiter und Fuchs (*Geiter et al. 1977*) empfahlen, die Sondenspitze deutlich distal des Treitz'schen Bandes zu postieren, da somit der Reflux in den Magen verhindert werden könne.

Auch Rödl (*Rodl et al. 1986*) erachtete die Sondenlage „jenseits des Treitz'schen Bandes zur Vermeidung von Komplikationen wie duodenogastraler Reflux und/oder schwallartiges Erbrechen“ als sehr wichtig. Er beobachtete bei korrekter Sondenlage lediglich in 3,2% der Fälle Komplikationen, bei nicht korrekter Sondenlage immerhin in 26,8%.

Hippeli und Grehn (*Hippeli et al. 1978*) beobachteten bei der Sondenlage vor der Flexura duodenojejunalis einen gastralen Reflux bei 83%, bei in der Flexura liegenden Spitze in 73% und bei korrekt distal positionierter Sonde in immerhin noch 51%. Diese recht hohe Komplikationsrate ist sicher am ehesten auf die mit 120-150 ml/min hohe Instillationsrate zurückzuführen.

Trüber und Fuchs (*Trüber et al. 1980*) hielten den Reflux in den Magen bei der Sondenlage distal des Treitz'schen Bandes sogar für „ausgeschlossen“.

In fünf Fällen kam es in dieser Studie zu Reflux. Davon war lediglich bei einem Patienten die Sonde proximal des Treitz'schen Bandes gelegen. Vier der fünf Sonden kamen am oder hinter der Flexura zum Liegen.

Die Beobachtungen in dieser Studie lassen keinen Zusammenhang von der Komplikationsrate mit der Sondenlage erkennen. Von den 14 aufgetretenen Komplikationen war nur in einem Fall die Sonde vor dem Treitz'schen Band positioniert.

Da offensichtlich kein Zusammenhang zwischen der Sondenlage und dem Auftreten von Komplikationen besteht –wie auch schon in den vorangegangenen Studien gezeigt (*Leppek et al. 1998, Ruhe 1996*), kann auch an dieser Stelle empfohlen werden, auf einen erhöhten Durchleuchtungs- und Zeitaufwand beim Versuch der Sondenplatzierung distal des Treitz'schen Bandes zu verzichten. Auch Miller und Sellink (*Miller et al. 1979*) empfahlen schon 1979, bei Schwierigkeiten, das Treitz'sche Band zu erreichen, alle weiteren Versuche abubrechen und die Untersuchung mit einer gegebenenfalls reduzierten Instillationsrate und bei Rechtsseitenlage des Patienten zur Refluxvermeidung zu beginnen.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Studie zur technischen Abbildungsqualität und endoluminalem Druck bei dem Enteroklysma hat sich damit beschäftigt, ob und wenn ja in welchem Ausmaß die Flussratenmodulation bei der Kontrastmittelinstitution Einfluss auf die Abbildungsgüte der Zielaufnahmen nimmt. Als Kriterien für die diagnostische Güte wurden der kohärente Kontrastmittelbeschlag und Transparenz gewählt.

Dazu wurden bei balancierter Randomisierung insgesamt 52 Patienten zwei Gruppen zugeordnet. Gruppe 1 (n=22) erhielt über die nasale Doppellumensonde ein bariumhaltiges Kontrastmittel mit Guaranzusatz, bei Gruppe 2 (n=30) war stattdessen Methylzellulose zugesetzt. Während die Kontrastmittelinstitution in Gruppe 1 der individuellen Dünndarmmotilität angepasst wurde, wurde die Einflussgeschwindigkeit bei Gruppe 2 konstant gehalten. Die Verwendung einer Doppellumensonde erlaubte neben der Institution eine kontinuierliche Aufzeichnung des endoluminalen Druckes während der Untersuchung. Im Anschluss an die Untersuchungen beurteilten zwei Fachärzte die Röntgenaufnahmen in zufälliger Reihenfolge bezüglich der Abbildungsqualität mit den Bewertungen von 1 (optimal) bis 4 (keine diagnostischen Aussagen möglich).

Unter der Anpassung der Einflussgeschwindigkeit war in Gruppe 1 der Kontrastmittelverbrauch signifikant niedriger (473 ± 93 ml gegenüber 736 ± 182 ml). Die Instillationszeit war bei variabler Rate mit $17,2 \pm 8,8$ min höher als bei konstanter Rate ($9,8 \pm 4,7$ min; $p < 0,001$).

Durchleuchtungszeit ($23,1 \pm 9,6$ min gegenüber $21,6 \pm 10,2$ min) und maximaler endoluminaler Druck ($57,6 \pm 15,8$ cmH₂O gegenüber $62,9 \pm 17,8$ cmH₂O, $p = 0,295$) unterschieden sich nicht signifikant.

Die Menge des Distensionsmediums (1586 ± 400 ml gegenüber 1503 ± 431 ml) und die Einflussgeschwindigkeit ($107,5 \pm 28,6$ ml/min gegenüber $115,3 \pm 27$ ml/min) waren in beiden Gruppen fast gleich.

Bezüglich der oben genannten Kriterien der durchgehenden Dünndarmdistension und –transparenz wurden die Zielaufnahmen der Gruppe 1 besser bewertet (Gruppe 1: $1,9 \pm 0,8$ bzw. $2,0 \pm 0,7$; Gruppe 2: $2,4 \pm 0,9$ bzw. $2,6 \pm 0,7$; $p = 0,059$).

Vor allem im Jejunum bringt die variable Instillationsrate des Kontrastmittels eine

deutliche Verbesserung der Abbildungsqualität ($1,55 \pm 0,6$ bzw. $1,86 \pm 0,56$ gegenüber $2,3 \pm 0,84$ bzw. $2,6 \pm 0,72$, $p < 0,001$).

Fazit der vorliegenden Untersuchung ist, dass die patientenindividuell an die vorliegende Motilität adaptierte Kontrastmittelinstitution der konstanten Einflussrate vorgezogen werden sollte. Sie verbessert durch die optimale Dünndarmdistension und –transparenz die diagnostische Qualität, ohne die Durchleuchtungszeit zu erhöhen.

7. Literatur

1. Video-Endoskopie: Mit einer Kapsel den Dünndarm inspizieren. Deutsches Ärzteblatt 28/29, A-1950, 1999.
2. Abu-Yousef H, Benson CA, Lu CH et al. Enteroclysis aided by an electric pump. Radiology 147, 268-269, 1983.
3. Antes G. [General motility disorders of the small bowel]. Radiologe 30[6], 273-279, 1990.
4. Antes G. Enteroclysis- Technik und Ergebnisse. 1993a. Guerbet-Schriftenreihe " Texte zur Radiologie des Gastrointestinaltraktes".
5. Antes G. Frequent errors in small bowel diagnostics: Recognition, prevention and quality control. Röntgenpraxis 46[7], 205-209, 1993b.
6. Antes G. Einlaufgeschwindigkeit der Kontrastmittel. In: Bildgebende Dünndarmdiagnostik: Enteroklysis und andere bildgebende Verfahren , S.18-19, 1998a. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.
7. Antes G. 2. Untersuchungstechnik. In: Bildgebende Dünndarmdiagnostik 1.Auflage. Hrsg. S.5-26, 1998b. Berlin, Springer.
8. Antes G, Eggemann F. Antes G, Eggemann F Dünndarmradiologie. Einführung und Atlas. 1986. Berlin - New York, Springer.
9. Antes G, Eggemann F. [Intubation without problems in enteroclysis of the small intestine]. Röntgenpraxis 40, 411-412, 1987.
10. Antes G, Lissner J. Die Doppelkontrastdarstellung des Dünndarms mit Barium und Methylzellulose. Fortschr Geb Rontgenstr 134[1], 10-15, 1981.
11. Arnold G. 13.D.II. Baucheingeweide - Dünndarm. In: Anatomie 5.Auflage. Hrsg. Schiebeler TH, Schmidt W., S.579-587, 1991. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.
12. Aschoff AJ, Zeitler H, Merkle EM et al. [MR enteroclysis for nuclear spin tomographic diagnosis of inflammatory bowel diseases with contrast enhancement]. Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 167[4], 387-391, 1997.
13. Baath L, Ekberg O, Borulf S et al. Small bowel barium examination in children.

- Diagnostic accuracy and clinical value as evaluated from 331 enteroclysis and follow-through examinations. *Acta Radiol [Diagn] (Stockh)* 30[6], 621-626, 1989.
14. Bach DB. Single-contrast examination of the duodenum following enteroclysis. *J Can Assoc Radiol* 38[3], 224-226, 1987.
 15. Bakker AJ, Reeders JWAJ, Rosenbusch G. Radiography of the small intestine: Conventional technique and Sellink's enteroclysis method. *Röntgenpraxis* 41[1], 11-16, 1988.
 16. Barloon TJ, Franken EA. Plasma electrolyte status after small-bowel enteroclysis. *AJR Am J Roentgenol* 146, 323-325, 1985.
 17. Barloon TJ, Lu CC, Honda H et al. Does a normal small-bowel enteroclysis exclude small-bowel disease? A long-term follow-up of consecutive normal studies. *Abdom Imaging* 19[2], 113-115, 1994.
 18. Bartram C. Small bowel enteroclysis: cons. *Abdom Imaging* 21[3], 245-246, 1996.
 19. Bender GN, Lane JD, Tsuchida A et al. Small bowel biopsy through an enteroclysis catheter to augment findings at enteroclysis and hypotonic duodenography. *Radiology* 191[2], 573-575, 1994.
 20. Bender GN, Timmons JH, Williard WC et al. Computed tomographic enteroclysis: one methodology. *Invest Radiol* 31[1], 43-49, 1996.
 21. Bessette JR, Maglinte DDT, Kelvin FM et al. Primary malignant tumors in the small bowel: a comparison of the small-bowel enema and conventional follow-through examination. *AJR Am J Roentgenol* 153, 741-744, 1989.
 22. Bilbao MK, Frische LH, Dotter CT et al. Hypotonic Duodenography. *Radiology* 89, 438-443, 1967.
 23. Bücheler E. 4. Diagnostische Radiologie der inneren Organe - Dünndarm. In: *Einführung in die radiologische Diagnostik* 10. völlig neubearb. Aufl. Auflage. Hrsg. Thurn P, Bücheler E., S.503-520, 1998. Stuttgart, New York, Thieme.
 24. Chen MY, Ott DJ, Kelley TF et al. Impact of the small bowel study on patient management. *Gastrointest Radiol* 16[3], 189-192, 1991.
 25. Cohen ME, Barkin JS. Enteroscopy and enteroclysis: the combined procedure

- [see comments]. Am J Gastroenterol 84, 1413-1415, 1989.
26. Cole LG. Artificial dilation of the duodenum for radiographic examinations. AJR Am J Roentgenol 3, 204, 1911.
 27. Davis M, Mojtahed H, Arora S et al. Complications from enteroclysis tube insertion [letter]. AJR Am J Roentgenol 164[1], 259-260, 1995.
 28. Desaga JF. Radiological detection of pathological changes of the mucosa of the small intestine. Fortschr Geb Rontgenstr 146[6], 689-694, 1987a.
 29. Desaga JF. Use of mucolytic agents and Guaran HEPART (HP-7000) for the detection of mucosal villi in double contrast barium studies of the small intestine. Röntgenblätter 40[12], 398-400, 1987b.
 30. Desaga JF. Visualization of the mucosal villi on double-contrast barium studies of the small intestine by using a high molecular fraction of guaran. Gastrointest Radiol 14[1], 25-30, 1989.
 31. Desaga JF. Transparente Schleimhautdarstellung des Dünndarms. Arbeitsanleitung zum Enteroklysma Nicholas GmbH, Sulzbach, Taunus, 1990.
 32. Desaga JF, Breidenbach M, Betzenberger A. A new method for radiolucent presentation of small bowel. Röntgen-Berichte 13, 257-264, 1984.
 33. Dixon PM, Roulston ME, Nolan DJ. The small bowel enema: A ten year review. Clin Radiol 47[1], 46-48, 1993.
 34. Einstein DM, Lieberman JM, Paushter DM et al. Gastrointestinal radiology: Current indications and referral patterns. Abdom Imaging 18[1], 2-6, 1993.
 35. Ekberg O. Double contrast examination of the small bowel. Gastrointest Radiol 1[4], 349-353, 1977.
 36. Ewe K, Karbach U. 29. Funktionen des Magen-Darm-Kanals. In: Physiologie des Menschen 24.Auflage. Hrsg. Schmidt RF, Thews G., S.733-777, 1990. Berlin, Springer.
 37. Faber SC, Stehling MK, Holzknecht N et al. Pathologic conditions in the small bowel: findings at fat-suppressed gadolinium-enhanced MR imaging with an optimized suspension of oral magnetic particles. Radiology 205[1], 278-282, 1997.
 38. Fanucci A, Cerro P, Fanucci E. Normal small-bowel measurements by

- enteroclysis. Scan J Gastroenterol 23[5], 574-576, 1988.
39. Fanucci A, Cerro P, Fraracci L et al. Small bowel length measured by radiography. Gastrointest Radiol 9, 349-351, 1984.
 40. Finke M. Enteroclysis: Double contrast examination of the small bowel. Radiol Technol 59[2], 143-149, 1987.
 41. Fitzgerald EJ, Thompson GT, Somers SS et al. Pneumocolon as an aid to small-bowel studies. Clin Radiol 36[6], 633-637, 1985.
 42. Fleckenstein P, Pedersen G. The value of the duodenal intubation method (Sellink modification) for the radiological visualizaiton of the small bowel. Scan J Gastroenterol 19, 423-425, 1975.
 43. Frick H, Leonhardt H, Starck D. 14.B.2. Intra- und retroperitoneale Organe - Der Dünndarm. In: Spezielle Anatomie 4.überarbeitete Auflage.Auflage. Hrsg. S.105-111, 1992. Stuttgart, New York, Thieme Verlag.
 44. Fuchs H, Jakobi V. Arbeitsanleitung zur Röntgenuntersuchung des Dünndarms. 1989. Zentrum für Radiologie, Haus 11, Johannes Gutenberg Universität, Frankfurt am Main.
 45. Geiter B, Fuchs HF. Dünndarm-Kontrasteinlauf - Indikationen und Technik. Deutsches Ärzteblatt 43, 2575-2578, 1977.
 46. Gelfand DW. Enteroclysis in small bowel disease. Postgrad Radiol 6[4], 221-233, 1986.
 47. Gershon-Cohen J, Shay H. Barium Enteroclysis - A method for the direct immediate examination of the small intestine by single and double contrast techniques. AJR Am J Roentgenol 43[3], 456-458, 1939.
 48. Ghélew B, Mengis O. Mise en évidence de l'intestine grêle par une nouvelle technique radiologique. Presse Med , 444, 1938.
 49. Ginaldi S. Small bowel perforation during enteroclysis. Gastrointest Radiol 16, 29-31, 1991.
 50. Goei R, Lamers RJS, Lamers JJH. Enteroclysis. Improved performance using a flow inducer. Acta Radiol [Diagn] (Stockh) 29[6], 665-668, 1988.
 51. Goldberg HI, Margulis AR. Gastrointestinal radiology in the United States: An overview of the past 50 years. Radiology 216[1], 1-7, 2000.

52. Golder W. [Is it all over with x-ray small intestine imaging?]. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 174[7], 807-808, 2002.
53. Goldstein HM, Poole GJ, Rosenquist CJ et al. Comparison of methods for acceleration of small intestinal radiographic examination. *Radiology* 98, 519-523, 1971.
54. Gourtsoyiannis N, Papanikolaou N, Grammatikakis J et al. MR enteroclysis protocol optimization: comparison between 3D FLASH with fat saturation after intravenous gadolinium injection and true FISP sequences. *Eur Radiol* 11[6], 908-913, 2001.
55. Greenspoon EA, Lentino W. Retrograde enterography - A new method for the roentgenological study of the small bowel. *AJR Am J Roentgenol* 83[5], 909-918, 1960.
56. Gurian L, Jendrzewski J, Katon R et al. Small-bowel enema - An underutilized method of small-bowel examination. *Dig Dis Sci* 27[12], 1101-1108, 1982.
57. Halliday KE, Patel SR, Baker WNW. Colonic obstruction following small bowel barium study. *Brit J Radiol* 66[788], 725-726, 1993.
58. Halligan S, Saunders B, Williams C et al. Adult Crohn disease: can ileoscopy replace small bowel radiology? *Abdom Imaging* 23[2], 117-121, 1998.
59. Halpert RD, Feczko PJ, Keller CE et al. Enteroclysis for the examination of the small bowel. *Henry Ford Hosp Med J* 33[2-3], 116-121, 1985.
60. Hart D, Haggett PJ, Boardman P et al. Patient radiation doses from enteroclysis examinations. *Brit J Radiol* 67[802], 997-1000, 1994.
61. Herlinger H. A modified technique for the double contrast small bowel enema. *Gastrointest Radiol* 3, 201-207, 1978.
62. Heyman SN, Stalnikowicz R, Heyman A et al. Erythromycin-induced dynamic ileus? *J Clin Gastroenterol* 10[5], 551-554, 1988.
63. Hightower NCJr. Section 6. Motor action of the small bowel. In: *Handbook of Physiology* Heidel W., S.2001-2024, 1968. Washington D.C., American Physiology Society. Alimentary Canal. Code, C. F.
64. Hildell J. Conventional radiography of the small bowel. *Radiologe* 30[6], 266-272, 1990.

65. Hippeli R, Grehn S. Investigation of the small bowel using an intubation method. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 129[6], 713-723, 1978.
66. Holzknecht N, Helmberger T, von Ritter C et al. [MRI of the small intestine with rapid MRI sequences in Crohn disease after enteroclysis with oral iron particles]. *Radiologe* 38[1], 29-36, 1998.
67. Janssens J, Peeters TL, Vantrappen G et al. Improvement of gastric emptying in diabetic gastroparesis by erythromycin. Preliminary studies. *N Engl J Med* 322[15], 1028-1031, 1990.
68. Junqueira LC, Carneiro J. 20.6. Histologische Anatomie- Verdauungsorgane. In: *Lehrbuch der Cytologie, Histologie und mikroskopischen Anatomie des Menschen unter besonderer Berücksichtigung der Histophysiologie* 3. erw. u. völlig überarb. Auflage. Hrsg. S.404-512, 1991. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.
69. Kelekis D, Papadaki PJ, Zavras GM et al. EKG-Veränderungen während der Enteroklyse. *Röntgenpraxis* 46, 108-110, 1993.
70. Kettritz U, Isaacs K, Warshauer DM et al. Crohn's disease. Pilot study comparing MRI of the abdomen with clinical evaluation. *J Clin Gastroenterol* 21[3], 249-253, 1995a.
71. Kettritz U, Shoenut JP, Semelka RC. MR imaging of the gastrointestinal tract. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 3[1], 87-98, 1995b.
72. Kim SK. Small intestine transit time in the normal small bowel study. *AJR Am J Roentgenol* 104[3], 522-524, 1968.
73. Lappas JC, Maglinte DDT. Enteroclysis - A technique for examining the small bowel. *Crit Rev Diagn Imaging* 30[2], 183-217, 1990.
74. Laufer I. Define the appropriate use of enteroclysis in managing patients. *AJR Am J Roentgenol* 165[5], 1297-1298, 1995.
75. Leppek R, Sauerwald M, Berthold LD et al. [Standardized enteroclysis. Monitoring of intra-lumen pressure in 3 different patient groups]. *Radiologe* 38[7], 624-631, 1998.
76. Link TM, Koc F, Peters PE. [State of the art of selective small bowel enema. Indications and results]. *Bestandsaufnahme der selektiven Dünndarmpassage.*

- Indikationen und Ergebnisse. Radiologe 33[6], 343-346, 1993.
77. Lintott D, Herlinger H. Double-contrast examination. Part II: Small intestine. Clin Gastroenterol 13[1], 73-98, 1984.
 78. Maglinte DD, Antley RM. Radiology of the small bowel: enteroclysis and the conventional follow-through. Gastroenterology 86[2], 383-384, 1984a.
 79. Maglinte DD, Hall R, Miller RE et al. Detection of surgical lesions of the small bowel by enteroclysis. Am J Surg 147[2], 225-229, 1984b.
 80. Maglinte DD, Lappas JC, Kelvin FM et al. Small bowel radiography: how, when, and why? Radiology 163[2], 297-305, 1987.
 81. Maglinte DD, Reyes BL, Harmon BH et al. Reliability and role of plain film radiography and CT in the diagnosis of small-bowel obstruction. AJR Am J Roentgenol 167[6], 1451-1455, 1996.
 82. Maglinte DDT, Burney BT, Miller RE. Technical factors for a more rapid enteroclysis. AJR Am J Roentgenol 138, 588-591, 1982.
 83. Maglinte DDT, Herlinger H. Small bowel radiography: An overview. Dig Dis Sci 29[11], 1057-1059, 1984c.
 84. Maglinte DDT, Miller RE. Intubation infusion method: Reliability in diagnosis of mechanical partial small-bowel obstruction. Mt Sinai J Med 51[4], 372-377, 1984d.
 85. Massoud TF, Creasy T, Nolan DJ. Contrast radiography in small-bowel obstruction: enteroclysis forgotten? Surgery 109[3 Pt 1], 345-346, 1991.
 86. Mattsson O, Perman G, Lagerlöf H. The small intestine transit time with a physiologic contrast medium. Acta Radiol [Diagn] (Stockh) 54, 334-344, 1960.
 87. McKee DP, Quigley EM. Intestinal motility in irritable bowel syndrome: is IBS a motility disorder? Part 2. Motility of the small bowel, esophagus, stomach, and gall-bladder. Dig Dis Sci 38[10], 1773-1782, 1993.
 88. Miller RE, Sellink JL. Enteroclysis: The small bowel enema. How to succeed and how to fail. Gastrointest Radiol 4, 269-283, 1979.
 89. Minami T, Nishibayashi H, Shinomura Y et al. Effects of erythromycin in chronic idiopathic intestinal pseudo-obstruction. J Gastroenterol 31[6], 855-859, 1996.

90. Minowa O, Ozaki Y, Sumi Y. [MR imaging of small bowel with water administration]. *Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi* 62[2], 73-78, 2002.
91. Moch A, Herlinger H, Kochman ML et al. Enteroclysis in the evaluation of obscure gastrointestinal bleeding. *AJR Am J Roentgenol* 163[6], 1381-1384, 1994.
92. Neutard E, Kluge F. Radiological changes of adult sprue. *Radiologe* 21, 381-385, 1981.
93. Nolan DJ. Barium examination of the small intestine. *Br J Hosp Med* 52[4], 136-141, 1994.
94. Nolan DJ, Cadman PJ. The small bowel enema made easy. *Clin Radiol* 38[3], 295-301, 1987.
95. Ott DJ, Chen YM, Gelfand DW et al. Detailed per-oral small bowel examination vs. enteroclysis. Part I: Expenditures and radiation exposure. *Radiology* 155[1], 29-31, 1985.
96. Oudkerk M, Rijke AM. The effect of barium infusion rate on the diagnostic value of small bowel enteroclysis. *J Med Imaging* 2[3], 123-129, 1988.
97. Patak MA, Froehlich JM, von Weymarn C et al. Non-invasive distension of the small bowel for magnetic-resonance imaging. *Lancet* 358[9286], 987-988, 2001.
98. Pesquara GS. A method for the direct visualization of lesions in the small intestines. *AJR Am J Roentgenol* 22[3], 254-257, 1929.
99. Pilot MA, Qin XY. Macrolides and gastrointestinal motility. *J Antimicrob Chemother* 22 Suppl B[7], 201-206, 1988.
100. Prassopoulos P, Papanikolaou N, Grammatikakis J et al. MR enteroclysis imaging of Crohn disease. *Radiographics* 21 Spec No:S161-72., S161-S172, 2001.
101. Pribram BO, Kleiber N. Ein neuer Weg zur röntgenologischen Darstellung des Duodenums (Pneumo-Duodenum). *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 36[4], 739-744, 1927.
102. Rabenstein T, Krauss N, Hahn E et al. Wireless capsule endoscopy - beyond the frontiers of flexible gastrointestinal endoscopy. *Med Sci Monit* 8[6], RA128-RA132, 2002.

103. Rex DK, Lappas JC, Maglinte DD. Clinical utility of enteroclysis. *Trop Gastroenterol* 12[1], 15-20, 1991.
104. Rieber A, Nussle K, Wruk D et al. MRI in the diagnosis of small bowel disease: use of positive and negative oral contrast media in combination with enteroclysis. *Eur Radiol* 10[9], 1377-1382, 2000a.
105. Rieber A, Wruk D, Nussle K et al. [MRI of the abdomen combined with enteroclysis in Crohn disease using oral and intravenous Gd-DTPA]. *MRT des Abdomens in Kombination mit der Enteroklyse bei Morbus Crohn unter Verwendung von oralem und intravenosem Gd-DTPA. Radiologe* 38[1], 23-28, 1998.
106. Rieber A, Wruk D, Nussle K et al. [Current imaging in Crohn's disease: value of MRI compared with conventional proceedings]. *Röntgenpraxis* 52[10-12], 378-383, 2000b.
107. Rieber A, Wruk D, Potthast S et al. Diagnostic imaging in Crohn's disease: comparison of magnetic resonance imaging and conventional imaging methods. *Int J Colorectal Dis* 15[3], 176-181, 2000c.
108. Rodl W, Possel HM, Prull A et al. Efficacy and efficiency of small bowel double contrast enema. *Radiologe* 26[2], 55-65, 1986.
109. Rosenbusch G, Jansen JB, Reeders JW. Contemporary radiological examination of the small bowel. *Baillieres Clin Gastroenterol* 8[4], 683-700, 1994.
110. Ruhe D. Ruhe D Standardisierte Dünndarmenteroklyse nach Sellink - Ergebnisse bei 45 gesunden Patienten. 1996. Marburg.
111. Ruppin H. Current aspects of intestinal motility and transport. *Klin Wochenschr* 63[15], 679-688, 1985.
112. Russell JGB. Patients' complaints after barium enema. *Brit J Radiol* 59[699], 294-295, 1986.
113. Samsom M, Jebbink RJ, Akkermans LM et al. Effects of oral erythromycin on fasting and postprandial antroduodenal motility in patients with type I diabetes, measured with an ambulatory manometric technique. *Diabetes Care* 20[2], 129-134, 1997.

114. Sanders DE, Ho CS. The small bowel enema: experience with 150 examinations. *AJR Am J Roentgenol* 127, 743-751, 1976.
115. Sarna SK, Soergel KH, Koch TR et al. Gastrointestinal motor effects of erythromycin in humans. *Gastroenterology* 101[6], 1488-1496, 1991.
116. Schmutz G. Enteroclysis: How, why and when? *Radiologie J Cepur* 9[5], 261-266, 1989.
117. Schober E, Turetschek K, Mostbeck G. [Radiologic evaluation of Crohn disease]. Die radiologische Abklärung des Morbus Crohn. *Radiologe* 38[1], 15-22, 1998.
118. Schunk K, Metzmann U, Kersjes W et al. [Follow-up of Crohn's disease: can hydro-MRI replace fractionated gastrointestinal passage examination?]. Verlaufskontrolle des Morbus Crohn: Kann die Hydro-MRT die fraktionierte Magen-Darm-Passage ersetzen? *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 166[5], 389-396, 1997.
119. Scott-Harden WG, Hamilton HAR, McCall-Smith S. Radiological investigation of the small intestine. *Gut* 2, 316-322, 1961.
120. Sellink JL. Sellink JL Examination of the small intestine by means of duodenal intubation. 1971. Leiden, Stenfert Kroese N.V.
121. Sellink JL, Rosenbusch G. "The Ten Commandments" for enteroclysis or ten golden rules for proper enteroclysis technique. *Radiologe* 21, 366-378, 1981.
122. Semelka RC, Shoenut JP, Silverman R et al. Bowel disease: prospective comparison of CT and 1.5-T pre- and postcontrast MR imaging with T1-weighted fat-suppressed and breath-hold FLASH sequences. *J Magn Reson Imaging* 1[6], 625-632, 1991.
123. Shoenut JP, Semelka RC. Magnetic resonance imaging of lesions in the abdomen. *Med J Aust* 158[7], 495-497, 1993a.
124. Shoenut JP, Semelka RC, Magro CM et al. Comparison of magnetic resonance imaging and endoscopy in distinguishing the type and severity of inflammatory bowel disease. *J Clin Gastroenterol* 19[1], 31-35, 1994.
125. Shoenut JP, Semelka RC, Silverman R et al. Magnetic resonance imaging in inflammatory bowel disease. *J Clin Gastroenterol* 17[1], 73-78, 1993b.

126. Shrake PD, Rex DK, Lappas JC et al. Radiographic evaluation of suspected small bowel obstruction. *Am J Gastroenterol* 86[2], 175-178, 1991.
127. Tack J. Georges Brohee Prize 1994. Motilin and the enteric nervous system in the control of interdigestive and postprandial gastric motility. *Acta Gastroenterol Belg* 58[1], 21-30, 1995.
128. Tack J, Janssens J, Vantrappen G et al. Effect of erythromycin on gastric motility in controls and in diabetic gastroparesis. *Gastroenterology* 103[1], 72-79, 1992.
129. Taucer F, Bach D, Olutola PS. Barium gun for use in enteroclysis. *Gastrointest Radiol* 11[2], 203-204, 1986.
130. Thiele J, Kloppel R, Schulz H-G. CT-Sellink - A new method for demonstrating the gut wall. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 159[3], 213-217, 1993.
131. Thoeni RF, Gould RG. Enteroclysis and small bowel series: Comparison of radiation dose and examination time. *Radiology* 178[3], 659-662, 1991.
132. Traill ZC, Nolan DJ. Technical report: intubation fluoroscopy times using a new enteroclysis tube. *Clin Radiol* 50[5], 339-340, 1995.
133. Trickey SE, Halls J, Hodson CJ. A further development of the small bowel enema. *Proc Royal Soc* , 1070-1073, 1963.
134. Trüber E, Fuchs HF. Morphologische Dünndarmdiagnostik: exklusive Domäne der Röntgendiagnostik. *Therapiewoche* 30, 3490-3496, 1980.
135. Trüber E, Fuchs HF. Die neoplastischen und entzündlichen Dünndarmveränderungen im Röntgenbild. *Radiologe* 21, 377-380, 1981.
136. Umschaden HW, Szolar D, Gasser J et al. Small-bowel disease: comparison of MR enteroclysis images with conventional enteroclysis and surgical findings. *Radiology* 215[3], 717-725, 2000.
137. Vallance R. An analysis of 200 patients with negative small bowel enemas. *Clin Radiol* 32, 183-185, 1981.
138. Van Gossum A, Tavares L, Adler M et al. Non-invasive methods for assessment of small bowel functions. *Acta Gastroenterol Belg* 52[5-6], 513-522, 1989.
139. Vantrappen G. Intestinal motility and its disorders. *Scand J Urol Nephrol Suppl*

- 142, 18-21, 1992.
140. Young GP, Hebbard GS. Diagnostic techniques for small intestinal disease. *Curr Opin Gastroenterol* 8[2], 232-238, 1992.
141. Yu M. M2A capsule endoscopy. A breakthrough diagnostic tool for small intestine imaging. *Gastroenterol Nurs* 25[1], 24-27, 2002.
142. Zalev AH, McLennan MK. Double-contrast hypotonic duodenography after enteroclysis. *Can Assoc Radiol J* 42[2], 141-143, 1991.

8. Anhang

8.1. Fallbeispiele mit ausgewählten Röntgenaufnahmen



Protokoll mit variabler Instillationsrate

77 jährige weibliche Patientin, die sich zur Frage einer intestinalen Blutungsquelle zum Enteroklyisma vorstellte.

Technische Abbildungsqualität sehr gut, da eine zusammenhängende und ausreichend transparente Doppelkontrastdarstellung des Dünndarms gelang.



Protokoll mit variabler Instillationsrate

50 jährige weibliche Patientin mit Subileus-Symptomatik. Während des Enteroklysmas zeitweilig Hypomotilität mit konsekutivem „relativen Kontrastmittelüberangebot“ und dadurch abschnittsweise nicht ausreichender Transparenz der Darmschlingen.

Technische Abbildungsqualität eingeschränkt.



Protokoll mit variabler Instillationsrate

26 jähriger männlicher Patient, bei dem ein klinisch auffälliger Gewichtsverlust mit abdominaler Schmerzsymptomatik bestand. Der gleichmäßige transparente Kontrastmittelbeschlag gestattet eine detaillierte Analyse des Schleimhautreliefs.

Technische Abbildungsqualität gut.



Protokoll mit konstanter Instillationsrate

48 jähriger männlicher Patient mit intestinaler Blutung. Gute Distension der Darmschlingen mit transparenter Doppelkontrastdarstellung der Darmschlingen.

Technische Abbildungsqualität gut.



Protokoll mit konstanter Instillationsrate

40 jähriger männlicher Patient mit ursächlich ungeklärter abdominaler Schmerzsymptomatik. Disproportionierte Füllung der Dünndarmschlingen. Durch die streckenweise „Überfüllung“ mit Bariumsuspension relativ eingeschränkte Transparenz der Doppelkontrastdarstellung.

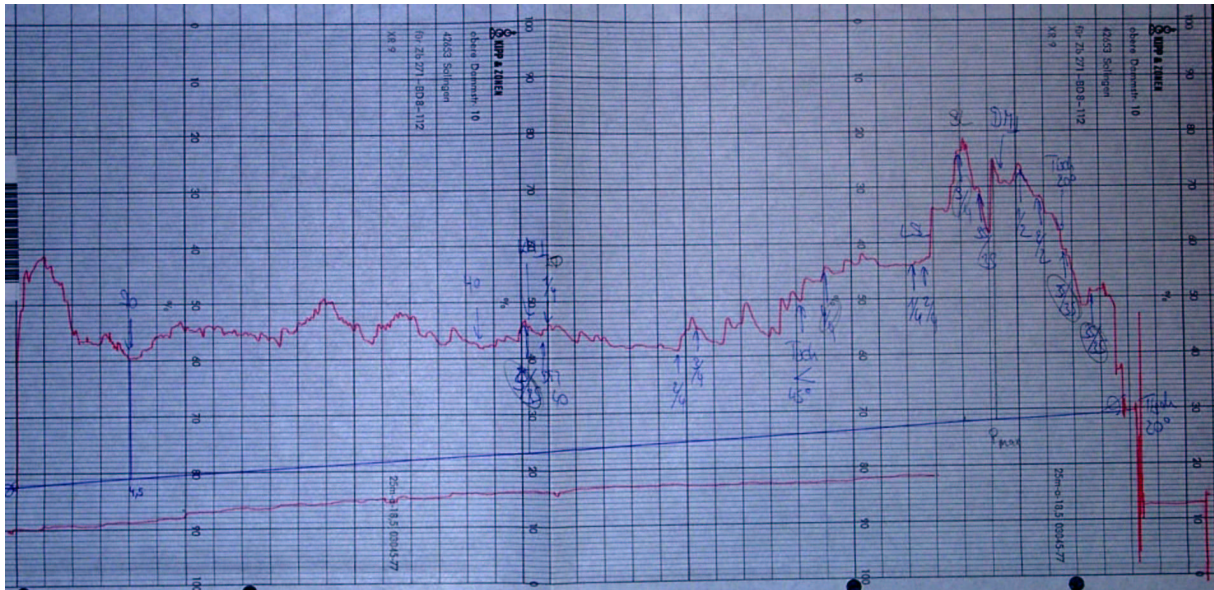
Technische Abbildungsqualität befriedigend.



Protokoll mit konstanter Instillationsrate

63 jährige weibliche Patientin mit Adhäsionen nach Strahlentherapie. Noch ausgeprägtere disproportionierte Füllung der Dünndarmschlingen sowie rascher KM-Übertritt in den Dickdarm. Infolge der streckenweisen „Überfüllung“ und der Überlagerung mit dem Dickdarm eingeschränkte Transparenz der Doppelkontrastdarstellung.

Technische Abbildungsqualität befriedigend.



Beispiel einer Druckregistrierungskurve während der Untersuchung (zu lesen von rechts nach links).

8.2. Patientenvorbereitung

Zwei Tage vor der Untersuchung: morgens, mittags und abends jeweils 200 mg Acetylcystein, aufgelöst in einem halben Glas Wasser. Jeweils zwei Stunden nach Tabletten oder Dragees.

Am Vortag der Untersuchung: Vor dem Frühstück Prepacol-Lösung in 200 ml Wasser, anschließend ein Glas Wasser.

Eine Stunde nach dem Frühstück 4 Prepacol-Tabletten unzerkaut mit einem Glas Wasser einnehmen.

Keine weitere Nahrungsaufnahme, jedoch stündlich ein Glas Tee, Kaffee (ohne Milch) oder Sprudel
3x 200 mg Acetylcystein wie am Vortag

Am Untersuchungstag: morgens zwei Tassen Tee, nichts essen, nichts einnehmen

Bis zur Untersuchung kein Wasserlassen, nicht rauchen

8.3. Anamnesebogen zur Röntgenuntersuchung des Dünndarms

Klinikum der Philipps-Universität Marburg

Medizinisches Zentrum für Radiologie
Abteilung für Strahlendiagnostik
Leiter: Prof. Dr. K.J. Klose



DR. R. LEPPEK
Baldingerstraße
D-35033 Marburg/Lahn
Tel.: 06421/2865952
Fax: 06421/2868959

Patientenaufklärung

Zur Studie „Technische Abbildungsqualität und endoluminaler Druck im Enteroklysma bei konstanter oder patientenindividuell adaptierter Kontrastmittelinstitution“

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

Sie sind bereits über die Bedeutung der bei Ihnen notwendigen Röntgenuntersuchung des Dünndarms, dem Enteroklysma, aufgeklärt worden. Um das Verfahren weiter verbessern zu können, führen wir eine Studie durch, in der das Druckverhalten des Darmes während der Untersuchung gemessen wird. Diese Messung erfolgt parallel zur Untersuchung und hat keine Auswirkungen auf diese. Es erwachsen Ihnen keinerlei weitere Risiken oder Nebenwirkungen. Die Untersuchung wird dadurch zeitlich nicht wesentlich beeinträchtigt.

Sie erhalten statt der gewöhnlich eingesetzten Sonde eine andere gebräuchliche Dünndarmsonde, die sich vom Durchmesser nicht unterscheidet. Sie enthält lediglich im Inneren einen Messkanal zur Druckmessung.

Die Ergebnisse der Studie sollen helfen, die Röntgenuntersuchung des Dünndarms noch besser auf jeden einzelnen Patienten abstimmen zu können.

Wir würden uns freuen, wenn Sie sich bereit erklären würden, an der Studie teilzunehmen.

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen von der Teilnahme zurücktreten, ohne daß Ihnen daraus Nachteile entstehen.

Zur Beantwortung weiterer Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Studienleiter Oberarzt Dr. med. Leppek

Medizinisches Zentrum für Radiologie Marburg
Abteilung für Strahlendiagnostik

Klinikum der Philipps-Universität Marburg

Medizinisches Zentrum für Radiologie
Abteilung für Strahlendiagnostik
Leiter: Prof. Dr. K.J. Klose



DR. R. LEPPEK
Baldingerstraße
D-35033 Marburg/Lahn
Tel.: 06421/2865952
Fax: 06421/2868959

Patienteneinverständniserklärung

Zur Studie „Technische Abbildungsqualität und endoluminaler Druck im Enteroklysma bei konstanter oder patientenindividuell adaptierter Kontrastmittelinstitution“

Hiermit erkläre ich mich einverstanden, an der Studie über das Druckverhalten des Dünndarms während des Enteroklysmas unter der Leitung von Herrn Oberarzt Dr. med. Leppek teilzunehmen.

Mir ist bekannt, daß

- eine doppelumige Sonde statt einer einlumigen Sonde benutzt wird, deren Durchmesser jedoch gleich ist,
- während der Untersuchung kontinuierlich über die Sonde der im Darm herrschende Druck gemessen wird,
- es zu keiner zusätzlichen Strahlenbelastung durch die Druckmessung kommt,
- die Aussagekraft der Röntgenbilder nicht unter der zusätzlichen Messung leidet,
- die Teilnahme freiwillig ist,
- ich jederzeit jederzeit ohne Angabe von Gründen von der Studie zurücktreten kann, ohne, daß mir daraus Nachteile entstehen,
- die erhobenen Daten vertraulich behandelt werden.

Mir ist ein Exemplar der Aufklärung ausgehändigt worden.

Marburg, den _____

(Unterschrift)

Klinikum der Philipps-Universität Marburg

Medizinisches Zentrum für Radiologie
Abteilung für Strahlendiagnostik
Leiter: Prof. Dr. K.J. Klose



DR. R. LEPPEK
Baldingerstraße
D-35033 Marburg/Lahn
Tel.: 06421/2865952
Fax: 06421/2868959

Anamnesebogen

Zur Studie „Technische Abbildungsqualität und endoluminaler Druck im Enteroklysma bei konstanter oder patientenindividuell adaptierter Kontrastmittelinstitution“

Um die gewonnenen Untersuchungsergebnisse korrekt und individuell bewerten zu können, benötigen wir noch einige Informationen von Ihnen. Wir bitten Sie daher um die Beantwortung der nachfolgend aufgeführten Fragen.

Selbstverständlich betrachten und behandeln wir Ihre Angaben streng vertraulich!

1.) Haben Sie in den letzten drei Monaten Antibiotika erhalten?

☐ Ja ☐ Nein

Wenn ja, aus welchem Grund? _____

Falls erinnerlich, Name des Antibiotikums _____

2.) Welche der folgenden Erkrankungen haben oder hatten Sie?

☐ Entzündungen des Darms seit _____

☐ Darmblutung

☐ Bauchspeicheldrüsenleiden

☐ Schilddrüsenüberfunktion

☐ Gallenleiden

☐ Gelbsucht

☐ Zuckerkrankheit ☐ Typ I ☐ Typ II seit _____

☐ andere Stoffwechselkrankheiten (Gicht u.a.), nämlich _____

☐ Nervenerkrankung, nämlich _____

☐ Lebensmittelallergie auf _____

☐ Milchsückerintoleranz

☐ sonstige Allergien: _____

3.) Wurden Sie schon einmal operiert?

☐ Nein ☐ Ja

Wenn ja, wann? _____, weshalb? _____

4.) Welche und wieviel der folgenden Medikamente nehmen Sie regelmäßig ein?

☐ Schmerzmittel, welche? _____

☐ Abführmittel, welche? _____

☐ Beruhigungsmittel, welche? _____

☐ Krampflösende Mittel (z.B. Buscopan), wenn ja, welches _____

☐ Andere, nämlich _____

5.) Welche Medikamente nehmen Sie –außer den obenaufgeführten – regelmäßig ein?

Name des Medikamentes	Morgens	Mittags	Abends	Spät

Haben Sie herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!

Ihre Röntgenabteilung

8.4. Untersuchungsprotokoll

Nr. _____

Untersuchungsprotokoll	
Datum: _____	Uhrzeit: _____
Untersucher: _____	MTRA: _____
<div style="border: 1px solid black; height: 120px; width: 100%; margin-bottom: 10px;"></div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 10px;"> <input type="checkbox"/> Antes <input type="checkbox"/> Marburg </div> <p>Fragestellung:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>

I. Arbeitsplatzvorbereitung

1. Kontrastmittel

- a) Viskosität: _____ Sekunden Auslaufzeit
- b) Temperatur: _____ °C

2. Distensionsmedium

- a) Viskosität: _____ Sekunden Auslaufzeit
- b) Temperatur: _____ °C

II. Plazieren der Sonde

1. Intubation: ☐ nasal ☐ oral
2. Sondenlage: ☐ vor ☐ am ☐ hinter dem Treitz'schen Band
3. Endgültige Sondenlage erreicht nach _____ min
4. Durchleuchtungszeit für Sondenplatzierung: _____ min,
Flächendosis: _____ cGycm²

III. Kontrastmittelkinetik

1. Mittlere Instillationsrate: _____ ml/min
2. Instillierte KM-Menge: ☐ 500 ml ☐ _____ ml

3. KM-Instillation beendet nach _____ min

4. Welcher Darmabschnitt ist am Ende der KM-Phase erreicht? _____

IV. Kinetik des Distensionsmediums

1. Mittlere Instillationsrate: _____ ml/min

2. Instillierte DM-Menge: ☐ 1000 ml ☐ 1500 ml ☐ _____ ml

3. DM-Instillation beendet nach _____ min

V. Dünndarmmotilität und Tonus der Darmwand

1. Erreichen der Bauhin'schen Klappe durch KM-Säule nach _____ min

2. Vorläufige Beurteilung der Peristaltik durch den Untersucher

a) zu Beginn der KM-Instillation: ☐ gering ☐ normal ☐ stark

b) zu Beginn der DM-Instillation: ☐ gering ☐ normal ☐ stark

c) bei Erreichen der Bauhin'schen Klappe: ☐ gering ☐ normal ☐ stark

VI. Gesamtzeitbedarf für die Untersuchung

1. Gesamtuntersuchungszeit: _____ min

2. Gesamtdurchleuchtungszeit: _____ min,

Flächendosis: _____ cGy cm^2

VII. Dokumentation

1. Aufnahmeprogramm:

_____ 35x35 - Übersichtsaufnahme(n) in Rückenlage

_____ 35x35 - Übersichtsaufnahme(n) in Bauchlage

_____ 24x30 - Zielaufnahme(n), Vollformat

_____ 24x30 - Zielaufnahme(n), quergeteilt

_____ 24x30 - Zielaufnahme(n), viergeteilt

VIII. Komplikationen und Besonderheiten während der Untersuchung

8.5. Auswertungsfragebogen

LEPPEK

TECHNISCHE ÄBILDUNGSQUALITÄT DES ENTEROKLYSMAS

- Allgemeiner erster Eindruck

- Vermutung zur verwendeten Technik ☐ Marburg ☐ Antes
- Intestinal hurry ☐ ja ☐ nein
- Zottendarstellung ☐ ja ☐ nein

Jejunum	
Ileum	
Terminales Ileum	

- 0 aufgrund **Resektion** nicht beurteilbar
- 1 **Sehr gut**
optimale und detailreiche Doppelkontrastdarstellung
- 2 **Befriedigend**
im Gegensatz zur eingeschränkten Darstellungsqualität, wenn auch nicht optimale, so doch hinsichtlich der Übersichtlichkeit und der Detailerkennbarkeit zufriedenstellende Aufnahme im Doppelkontrast
- 3 **Eingeschränkt**
streckenweise fehlender Doppelkontrast bzw. nur in Prallfüllung vorliegende Darstellung oder
aufgrund zu starker Überlagerung von Schlingenkonvoluten keine sichere Beurteilung möglich
- 4 **Nicht beurteilbar**
kein Doppelkontrast

Pathologische Muster

Jejunum:

Ileum:

Terminales Ileum:

Diagnose:

8.6. Akademische Lehrer

Meine akademischen Lehrer an der Philipps-Universität Marburg waren die Damen und Herren

Alfke, Arnold, Aumüller, Barth, Basler, Bertalanffy, Bien, Braune, Brilla, Czubayko, Ehlenz, Eissele, Fruhstorfer, Fuhrmann, Gemsa, Geus, Göke, Görg, Gotzen, Gressner, Grimm, Griss, Gröne, Grzeschik, Happle, Hellinger, Hellwig, Hemmer, Herzum, Hesse, Hoffmann, Joseph, Kaffarnik, Kern, Kleine, Klenk, Klose, Köhler, König, Koolman, Krause, Kretschmer, Krieg, Kroll, Lang, Lennartz, Lippert, Maisch, Moll, Moosdorf, Netter, Neubauer, Noll, Oertel, Pfab, Pfeiffer, Pflüger, Podszus, Remschmidt, Richter, Riedmiller, Röhm, Rosenow, Rothmund, Schachtschabel, Schäfer, Schnabel, Schreiber, Schüffel, Seitz, Slenczka, Sommer, Steiniger, Steinmetz, von Wichert, Vohland, Voigt, Wagner, Weide, Werner, Wilke, Wirth, Wolf, Ziegler

8.7. Danksagung

Ein besonderer Dank gilt dem Leiter der Abteilung für Strahlendiagnostik, Herrn Prof. Dr. Klose, für seine Unterstützung bei der Durchführung dieser Studie. Herrn Oberarzt Dr. R. Leppek danke ich für die Überlassung des Themas und seine Betreuung bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Herrn Oberarzt Dr. Berthold sei für die gute Einarbeitung und Kooperation gedankt.

Den MTRA des röntgendiagnostischen Arbeitsplatzes, insbesondere Herrn Werner Beykirch, danke ich für ihren sorgfältigen Beitrag zu Patientenvorbereitung und Untersuchungsdurchführung, der für die Datenerhebung erlässlich war.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. A. Ziegler danke ich für die statistische Beratung und Betreuung der Studie.

Der Fa. Guerbet, Sulzbach, ist für die Bereitstellung von Sonden und technischen Geräten zu danken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Mann für seine Geduld, seine Unterstützung und die Motivationsarbeit!

Großen Dank gebührt meinen Eltern, die mir das Studium ermöglichten. Vielen Dank auch an meinen Bruder für die tatkräftige Unterstützung und Hilfe bei Computerfragen.

8.8. Lebenslauf

Name:	Annette Fenske geb. Dross
Adresse:	Dragonerstrasse 21 30163 Hannover
Geburtsdatum:	08.04.1975
Geburtsort:	Giessen
Familienstand:	verheiratet
Schul Ausbildung:	
1981-1985	Grundschule Ulmtal, Greifenstein-Allendorf
1985-1994	Gymnasium Philippinum, Weilburg
1994	Allgemeine Hochschulreife
Studium:	
10/94-03/00	Medizinstudium an der Philipps-Universität Marburg
08/96	Ärztliche Vorprüfung
08/97	Erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung
03/00	Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung
04/01-03/02	Praktisches Jahr am Malteser Krankenhaus Bonn-Hardtberg, Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Bonn
29.04.02	Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung
Berufstätigkeit:	
12/02-11/03	Aufnahme der Tätigkeit als Ärztin im Praktikum an der Medizinischen Klinik I der Henriettenstiftung, Hannover
ab 12/03	Ärztin im Praktikum in der internistischen Praxis, Schwerpunkt Angiologie Dres. Emter/Rennebaum, Hannover

9. Index

3
3D FLASH 12

A
Abbildungsqualität 56

B
backwash-ileitis 37
Beurteilung der Peristaltik 100
Bodaert-Trias 37

C
CT-Enteroklysma 18

D
Darmbewegungstypen 31

E
Erythromycin 34

G
Guar 17

H
hypotonen Doppelkontrast-
Duodenographie 17

I
Indikationen 23
Intestinal Hurry 41

J
Jejunisierung des Ileums 40

K
Kapselendoskopie 8, 12

L
Leitkategorien 63
low suspicion 23

M
migrating motor complexes 32
migration action potential complex 32
Motilin 34
MRT-Enteroklysma 10

P
Pflastersteinrelief 37
Pneumoduodenographie 9
Pseudodivertikel 37
Pseudopolypen 37
Push-Enteroskopie 13

R
Randomisierung 47

S
Schnittbilddiagnostik 8
Stratifizierung 63

T
trueFISP 12

V
Vasoaktiven Intestinalen Polypeptid 33